



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UNA TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE TREN EPICICLOIDAL EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

**LLULLUNA YANACALLO LUIS FERNANDO
VIVAR CAMPOVERDE SAÚL ISABEL**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

RIOBAMBA – ECUADOR

2013

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-10-17

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

LLULLUNA YANACALLO LUIS FERNANDO

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UNA TRANSMISIÓN
AUTOMÁTICA DE TREN EPICICLOIDAL EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Raúl Cabrera E.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Constante N.
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2012-10-17

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

VIVAR CAMPOVERDE SAÚL ISABEL

Titulada:

**“IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UNA TRANSMISIÓN
AUTOMÁTICA DE TREN EPICICLOIDAL EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA
AUTOMOTRIZ”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

Ing. Geovanny Novillo A.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Raúl Cabrera E.
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Diego Constante N.
ASESOR DE TESIS

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: LLULLUNA YANACALLO LUIS FERNANDO

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UNA TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE TREN EPICICLOIDAL EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2013-10-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Tierra T. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Raúl Cabrera E. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Diego Constante N. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Tierra T.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: VIVAR CAMPOVERDE SAÚL ISABEL

TÍTULO DE LA TESIS: “IMPLEMENTACIÓN DE UN BANCO DIDÁCTICO DE UNA TRANSMISIÓN AUTOMÁTICA DE TREN EPICICLOIDAL EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ”

Fecha de Examinación: 2013-10-07

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Ing. Ángel Tierra T. PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Raúl Cabrera E. DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Diego Constante N. ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de defensa se han cumplido.

Ing. Ángel Tierra T.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presentamos, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teórico - científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad de los autores. El patrimonio intelectual e industrial le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Luis Fernando Llulluna Yanacallo

Saúl Isael Vivar Campoverde

DEDICATORIA

Dedico esta tesis con mucho amor y cariño:

A mis padres, por el apoyo incondicional en todo momento y en todo lugar, porque creyeron en mí, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ustedes, hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mi carrera.

A mis hermanos, porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Va por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza de superación y por último pero no menos importante para ti mi Hijo amado JOSEPH, ya que pensando en ti pude encontrar la fortaleza en mi corazón y mi alma para culminar con mi carrera profesional.

Luis Llulluna Yanacallo

Este trabajo lo dedico con todo mi corazón y de manera especial:

A mi padre Roque, por todo el apoyo moral, por ayuda en los momentos difíciles y por contribuirme con los recursos necesarios durante todo este tiempo. A mi madre Livia, por hacer de mí una mejor persona a través de sus consejos, enseñanzas y amor; por sus palabras de aliento en los momentos difíciles que me impulsaron cada día a seguir adelante.

A mis hermanos María y José, a mi sobrina Amanda y a todos mis familiares que me apoyaron en todo momento; y que gracias a sus esfuerzos, cariño y dedicación han hecho posible que hoy me encamine por el sendero correcto de la superación, llegando a cumplir mi meta de ser un profesional.

Saúl Vivar Campoverde

AGRADECIMIENTO

A mis padres mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles, agradezco también a mis hermanos y demás familiares por el apoyo moral y económico en todos mis logros de carrera, gracias a ustedes que durante estos años han sabido apoyarme e incentivarme para continuar y nunca renunciar. Gracias a todas aquellas personas que de una u otra forma me transmitieron amplios conocimientos y sabios consejos, apoyándome en esta etapa de aprendizaje.

Luis Llulluna Yanacallo

Agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, en especial a la Escuela de Ingeniería Automotriz, por acogerme y darme la oportunidad de cumplir una de mis metas propuestas, ser un profesional y una persona útil para la sociedad. A mis padres y a todos mis familiares por todo el apoyo brindado. A todos los docentes que durante estos cinco años han sembrado en mí la semilla del conocimiento; agradezco también a mis compañeros por haberme demostrado una sincera amistad y apoyado de una u otra manera a seguir adelante.

Saúl Vivar Campoverde

CONTENIDO

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	2
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	2
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	2
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Principio operativo de las cajas de cambio automáticas	4
2.1.1 <i>Generalidades</i>	4
2.1.2 <i>Principio hidráulico de las transmisiones automáticas</i>	4
2.1.2.1 <i>Principio de Pascal</i>	4
2.1.3 <i>Teorías de las cajas de cambio automáticas</i>	6
2.2 Convertidores de par	8
2.2.1 <i>Embrague hidráulico</i>	9
2.2.2 <i>Convertidor hidráulico de par</i>	10
2.2.2.1 <i>Convertidor de bloqueo</i>	13
2.3 Trenes epicicloidales	15
2.3.1 <i>Combinación de trenes epicicloidales</i>	17
2.3.1.1 <i>Un solo tren epicicloidal</i>	17
2.3.1.2 <i>Combinación de dos trenes epicicloidales</i>	18
2.3.1.3 <i>Agrupación dos en uno</i>	18
2.4 Elementos mecánicos de mando	20
2.4.1 <i>Embragues</i>	20
2.4.2 <i>Frenos</i>	21
2.4.2.1 <i>Frenos multidisco</i>	21
2.4.2.2 <i>Frenos de cinta</i>	21
2.4.3 <i>Rueda libre</i>	22
2.4.4 <i>Rueda de aparcamiento</i>	22
2.5 Elementos hidráulicos de mando	23
2.6 Funcionamiento del sistema hidráulico	25
2.7 Transmisión con montaje Simpson	26
2.8 Análisis de flujo de fuerzas.....	26
2.8.1 <i>Neutro y parqueo</i>	26
2.8.2 <i>Primera marcha</i>	26
2.8.3 <i>Segunda marcha</i>	27
2.8.4 <i>Tercera marcha</i>	27
2.8.5 <i>Reversa</i>	28
2.9 Relaciones de transmisión	28
2.9.1 <i>Relación de la primera marcha</i>	29
2.9.2 <i>Relación de la segunda marcha</i>	31
2.9.3 <i>Relación de la tercera marcha</i>	32
2.9.4 <i>Relación de la reversa</i>	32
3. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO	
3.1 Selección y diseño de elementos mecánicos	34
3.1.1 <i>Selección del sistema epicicloidal</i>	34
3.1.2 <i>Selección del sistema de transmisión de movimiento</i>	35
3.1.2.1 <i>Cálculo para la selección de las poleas</i>	36

3.1.2.2	<i>Cálculo para la selección de la banda</i>	37
3.1.3	<i>Modificación del sistema de embragues y análisis de los frenos de cinta..</i>	41
3.1.3.1	<i>Diseño de la rueda de embrague</i>	42
3.1.3.2	<i>Modificación de la corona de entrada</i>	44
3.1.3.3	<i>Análisis de los frenos de cinta</i>	46
3.1.4	<i>Diseño del eje impulsor.</i>	49
3.1.4.1	<i>Cálculo para la selección del eje</i>	49
3.1.4.2	<i>Análisis del eje</i>	54
3.1.5	<i>Selección de soportes deslizantes</i>	55
3.1.5.1	<i>Selección de la chumacera para el eje impulsor</i>	55
3.1.5.2	<i>Selección del rodamiento tipo canastilla de agujas</i>	56
3.1.5.3	<i>Selección de las chumaceras para el eje transmisor</i>	57
3.1.6	<i>Diseño la estructura de soporte</i>	58
3.2	<i>Selección y diseño de elementos eléctricos y electrónicos</i>	58
3.2.1	<i>Componentes eléctricos</i>	58
3.2.1.1	<i>Selección de actuadores eléctricos lineales.</i>	58
3.2.1.2	<i>Motor eléctrico trifásico</i>	59
3.2.1.3	<i>Variador de frecuencia</i>	62
3.2.2	<i>Componentes electrónicos</i>	63
3.2.2.1	<i>El microcontrolador</i>	63
3.2.2.2	<i>LCD</i>	67
3.2.2.3	<i>Sensores</i>	67
3.2.3	<i>Diseño del tacómetro</i>	69
3.2.3.1	<i>Programación del Microcontrolador PIC 16F628A</i>	69
3.2.4	<i>Diseño del circuito para el avance y retroceso de los actuadores</i>	71
3.2.5	<i>Diseño del circuito de control.</i>	72
3.2.5.1	<i>Programación del Microcontrolador PIC 16F877A</i>	76
4.	CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE	
4.1	<i>Equipos utilizados para la construcción</i>	78
4.1.1	<i>Torno</i>	78
4.1.2	<i>Fresadora</i>	78
4.1.3	<i>Taladro de pedestal</i>	79
4.1.4	<i>Soldadora de proceso MIG</i>	79
4.1.5	<i>Cortadora de plasma para metales</i>	81
4.1.6	<i>Soldador de estaño.</i>	82
4.2	<i>Construcción y detalle de funcionamiento del sistema de transmisión</i>	83
4.2.1	<i>Construcción y función de elementos mecánicos</i>	83
4.2.1.1	<i>Construcción de la rueda de embragues</i>	83
4.2.1.2	<i>Adecuación de la corona de entrada.</i>	84
4.2.1.3	<i>Construcción de los frenos de cinta</i>	85
4.2.1.4	<i>Construcción del eje impulsor</i>	85
4.2.1.5	<i>Construcción de la estructura de soporte</i>	86
4.2.1.6	<i>Construcción del tablero de mandos</i>	87
4.2.2	<i>Construcción de elementos electrónicos.</i>	87
4.3	<i>Ensamblado del mecanismo y tablero de mandos</i>	88
4.4	<i>Peso del banco didáctico</i>	95
5.	FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL BANCO DIDÁCTICO	
5.1	<i>Descripción del tablero de mandos</i>	96
5.1.1	<i>Interruptor general</i>	96
5.1.2	<i>Variador de frecuencia</i>	96
5.1.3	<i>Interruptor de relés</i>	97
5.1.4	<i>Interruptor de LCD</i>	97
5.1.5	<i>Potenciómetro</i>	98

5.1.6	<i>Botones de selección de modo de funcionamiento</i>	98
5.1.7	<i>Pantallas.</i>	98
5.2	Modos de funcionamiento	98
5.2.1	<i>Parqueo.</i>	99
5.2.2	<i>Neutro</i>	99
5.2.3	<i>Reversa.</i>	99
5.2.4	<i>Primera.</i>	99
5.2.5	<i>Segunda.</i>	99
5.2.6	<i>Automático.</i>	99
5.3	Guía práctica de operaciones y pruebas del banco didáctico	101
5.3.1	<i>Guía práctica de operaciones</i>	101
5.3.1.1	<i>Recomendaciones de uso.</i>	102
5.3.2	<i>Pruebas mecánicas.</i>	103
5.3.2.1	<i>Tensado de la banda.</i>	103
5.3.2.2	<i>Pernos y prisioneros</i>	103
5.3.2.3	<i>Ejes</i>	103
5.3.2.4	<i>Sistema de engranajes.</i>	104
5.3.3	<i>Pruebas eléctricas y electrónicas</i>	104
5.3.3.1	<i>Pruebas de continuidad.</i>	104
5.3.3.2	<i>Pruebas de alimentación y funcionamiento</i>	106
5.4	Resultados obtenidos	109
5.4.1	<i>Resultados de las pruebas mecánicas.</i>	109
5.4.2	<i>Resultados de las pruebas eléctricas y electrónicas</i>	109
5.4.3	<i>Datos obtenidos durante el funcionamiento.</i>	110
5.5	Plan de mantenimiento	111
6.	ANÁLISIS DE COSTOS	
6.1	Costos directos	113
6.1.1	<i>Costo de materiales.</i>	113
6.1.2	<i>Costo de mano de obra</i>	113
6.1.3	<i>Costo de transporte</i>	113
6.2	Costos indirectos	115
6.3	Costo total.....	116
7.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1	Conclusiones	117
7.2	Recomendaciones	118

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

		Pág.
1	Características de algunos tipos comunes de bandas.....	35
2	Factores de servicio sugeridos Ks para transmisiones de bandas en V	36
3	Secciones de bandas trapeciales (o en V) estándares	37
4	Circunferencias internas de bandas en V estándares.....	38
5	Potencias nominales en hp de bandas trapeciales (o en V) estándares	39
6	Factor de corrección de longitud K2	40
7	Algunas propiedades de los revestimientos para frenos.....	48
8	Factores combinados de choque y fatiga	53
9	Asignación de pines del LCD 16x2	68
10	Pares de apriete	103
11	Resultados de las pruebas mecánicas	109
12	Resultados de las pruebas de continuidad	110
13	Resultados de las pruebas de alimentación	110
14	Datos obtenidos durante el funcionamiento	110
15	Plan de mantenimiento preventivo.....	111
16	Costo de materiales de la parte mecánica	112
17	Costo de materiales de la parte eléctrica	113
18	Costo de materiales de la parte electrónica	113
19	Costo de mano de obra	114
20	Costo de transporte.....	114
21	Costos indirectos	115

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Prensa hidráulica.....	5
2 Caja de cambios de mando semiautomático.....	6
3 Caja de cambios enteramente automática de engranes planetarios.....	7
4 Convertidor de par con caja de planetarios prácticamente automática.....	8
5 Coronas del embrague hidráulico.....	9
6 Torbellino tórico.....	10
7 Elementos del convertidor hidráulico de par.....	11
8 Sentido del movimiento del aceite.....	12
9 Estructura de un convertidor de par.....	12
10 Convertidor de bloqueo.....	14
11 Despiece del convertidor de bloqueo.....	15
12 Tren epicicloidal.....	15
13 Obtención de movimiento en un tren epicicloidal.....	16
14 Disposición del tren planetario para la obtención de dos relaciones.....	17
15 Combinación de dos trenes epicicloidales.....	18
16 Estructura de un tren planetario Ravigneaux.....	19
17 Configuración del tren planetario Ravigneaux.....	19
18 Constitución de un embrague multidisco.....	20
19 Dispositivo de freno multidisco.....	21
20 Sistema de mando de la cinta de freno.....	22
21 Dispositivo de rueda libre.....	22
22 Mecanismo de enclavamiento de la rueda de aparcamiento.....	23
23 Componentes del sistema de mando de una caja automática.....	24
24 Circuito hidráulico de las válvulas del sistema de mando.....	25
25 Acoplamiento Simpson.....	26
26 Primera marcha.....	27
27 Segunda marcha.....	27
28 Tercera marcha.....	28
29 Reversa.....	28
30 Conjunto de piñones.....	29
31 Esquema de primera marcha.....	30
32 Esquema de segunda marcha.....	31
33 Esquema de tercera marcha.....	32
34 Esquema de reversa.....	33
35 Transmisión automática 30RH.....	34
36 Factor de corrección K1 para el ángulo de contacto.....	40
37 Parte interna de la caja de cambios.....	41
38 Sistema de embragues.....	42
39 Rueda de embragues.....	43
40 Resultado de desplazamientos en la rueda.....	43
41 Factor de seguridad-tensión cortadura máximo en la rueda (Tresca).....	44
42 Corona de entrada.....	44
43 Corona de entrada modificada.....	45
44 Desplazamientos y factor de seguridad de la corona modificada.....	45
45 Desplazamientos y factor de seguridad del freno de cinta 1.....	46
46 Desplazamientos y factor de seguridad del freno de cinta 2.....	46
47 Diseño de freno de cinta.....	47
48 Requerimientos de diseño del eje impulsor.....	50
49 Resultados de esfuerzos aplicados en el eje en el plano xy.....	52
50 Resultados de esfuerzos aplicados en el eje en el plano xz.....	52

51	Desplazamientos en el eje impulsor	54
52	Factor de seguridad del eje impulsor	55
53	Reacciones en el plano xy y en el plano xz.....	57
54	Desplazamientos en la mesa de soporte.....	58
55	Factor de seguridad de la mesa de soporte	59
56	Actuador para seguros eléctricos	59
57	Motor eléctrico trifásico	60
58	Motor trifásico inductivo de jaula de ardilla.....	61
59	Conexión de motores trifásicos modelo 1LA7 080-4YA60.....	61
60	Conexión del variador de frecuencia	62
61	Variador de frecuencia Siemens Sinamics G110	63
62	Esquema de un microcontrolador	64
63	Microcontrolador PIC 16F628A.....	65
64	Designación de los pines del PIC 16F628A	66
65	Microcontrolador PIC 16F877A.....	66
66	Designación de los pines del PIC 16F877A	66
67	LCD 16x2.....	66
68	Interruptor reed.....	69
69	Sensores magnéticos de fijación	69
70	Reconocimiento de pulsos	70
71	Circuito final del tacómetro.....	71
72	Circuito de Puente H	72
73	Diagrama de bloques del sistema de control	72
74	Diagrama de flujo de activación de parqueo	73
75	Diagrama de flujo de activación de neutro	74
76	Diagrama de flujo de activación de reversa	74
77	Diagrama de flujo de activación de primera marcha	75
78	Diagrama de flujo de activación de segunda marcha	75
79	Diagrama de flujo de activación del cambio totalmente automático	77
80	Circuito de control	78
81	Torno paralelo	79
82	Fresadora	80
83	Taladro de pedestal.....	80
84	Soldadora de proceso MIG	81
85	Cortadora de plasma.....	82
86	Cautín	82
87	Construcción de la rueda de embragues.....	83
88	Actuador lineal modificado	83
89	Modificación de la corona de entrada	84
90	Construcción de los frenos de cinta.....	85
91	Construcción del eje impulsor	86
92	Construcción de la estructura de soporte	87
93	Construcción del tablero de mandos	87
94	Diseño de las placas	88
95	Construcción de placas.....	89
96	Acople de la rueda de embragues al eje impulsor	89
97	Montaje de la corona de entrada	90
98	Colocación de la chumacera y polea	90
99	Colocación del tambor cobertor de satélites y corona posterior	91
100	Montaje del portasatélites y piñón planetario	91
101	Montaje del casco de impulsión del planetario	91
102	Montaje del segundo portasatélites	92
103	Montaje de la rueda de parqueo	92
104	Unión de ejes.....	92
105	Montaje de la banda.....	93

106	Armado del mecanismo de frenos de cinta, actuadores y escobillas	93
107	Colocación de sensores	94
108	Conexión de dispositivos eléctricos y electrónicos	94
109	Ubicación de la señalética	94
110	Banco didáctico	95
111	Tablero de mandos	97
112	Interruptor general	97
113	Variador de frecuencia	98
114	Interruptor de relés	98
115	Interruptor de LCD.....	98
116	Potenciómetro	99
117	Pulsadores.....	99
118	Pantallas	99
119	Activación del variador	101
120	Comprobación de tensado	103
121	Verificación de juegos	104
122	Pruebas del cableado	104
123	Continuidad en interruptores y pulsadores	105
124	Prueba del sensor del eje impulsor	105
125	Prueba del sensor del eje transmisor	106
126	Verificación de carbones	106
127	Prueba de alimentación	107
128	Alimentación del variador	107
129	Alimentación de transformadores	107
130	Voltaje de salida de transformadores	108
131	Alimentación de placas	108

LISTA DE ABREVIACIONES

AWS	Sociedad Americana de Soldadura
CV	Caballos de Vapor
EFS	Sistema de Fácil Ajuste
EPROM	Memoria Solo de Lectura Programable y Borrable
EEPROM	Memoria Solo de Lectura Programable y Borrable Eléctricamente
IGBT	Puerta Aislada Bipolar Transistor
LCD	Pantalla de Cristal Líquido
MIG	Soldadura de Arco Metálico Gaseoso
MEF	Método de Elementos Finitos
PIC	Circuito Integrado Programable
RAM	Memoria de Acceso Aleatorio
RISC	Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices
VCA	Voltaje de Corriente Alterna
VCD	Voltaje de Corriente Directa

LISTA DE ANEXOS

- A** Hoja técnica del acero SAE 1040 (Eje de transmisión)
- B** Catálogo de chumaceras y rodamientos
- C** Catálogo de planchas y tubos estructurales
- D** Catálogo de motores eléctricos trifásicos
- E** Características del variador de frecuencia
- F** Programación del variador de frecuencia
- G** Data sheet de microcontroladores PIC
- H** Esquemas eléctricos y electrónicos
- I** Programación de tacómetro y circuito de control
- J** Tablas de procesos
- K** Guías de laboratorio

RESUMEN

El presente proyecto tiene la finalidad de implementar un banco didáctico de una transmisión automática de tren epicycloidal en la Escuela de Ingeniería Automotriz, para que mediante aplicaciones reales, los estudiantes refuercen los conocimientos adquiridos en su formación académica.

El banco didáctico se basa en una transmisión automática 30RH, utilizada en los vehículos Chrysler con motores de 2.5L. Esta transmisión cuenta con una combinación de dos trenes epicycloidales, conocido también como montaje Simpson, la cual permite tener tres relaciones de marchas hacia adelante y una hacia atrás. La caja de cambios fue modificada, de tal forma que se pueda observar el funcionamiento de los elementos en las diferentes maniobras de cambio de relación.

Para dar movimiento al eje principal, se implementó un motor eléctrico que varía su velocidad mediante la utilización de un variador de frecuencia, simulando la aceleración y desaceleración que produce un motor de combustión interna. Además se diseñó y construyó un circuito de control encargado de realizar los cambios automáticos mediante la activación de los actuadores correspondientes a cada marcha.

El banco didáctico creado para la Escuela, es una herramienta que facilita el estudio y la comprensión del funcionamiento de las transmisiones automáticas; por tal razón se recomienda su correcto manejo y utilización para obtener óptimos resultados durante las prácticas.

.

ABSTRACT

The purpose of the present project is to implement a didactic bank of an automatic transmission epicycloid train in the Automotive Engineering School, so the students reinforce the knowledge in their academic formation through real applications.

The didactic bank is based in an automatic transmission 30RH, used in the Chrysler vehicles with engine 2.5L. This transmission has a combination of two epicycloid trains, known as Simpson assembly, which permits to have three gear relations forward and one gear backward. The gearbox was modified, so it can be observed the functioning of the elements in the different maneuvers of relation change.

To give movement to the principal axle, an electric engine was implemented which vary its speed through the use of a frequency changer, simulating the acceleration and deceleration that an engine of internal burning produces. In addition it was designed and built a control circuit in charge of making the automatic changes through the activation of the actors corresponding to each gear.

The didactic bank created for School, is a tool that makes easy the study and understanding of the functioning of automatic transmissions; for this reason it is recommended its correct handling and use to obtain optimal results during practice.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Desde que fue creado el primer automóvil en el mundo la necesidad del ser humano por sentir control, disminuir distancias y tiempos de desplazamiento fue uno de los objetivos más obsesivos en la historia de la mecánica automotriz, dando lugar a nuevas y mejoradas tecnologías que convertirían al automóvil en un medio útil para transportarse. Esto dio lugar al automatismo en el cambio de la relación de transmisión para proporcionar al conductor mayor comodidad.

El cambio automático es un sistema de transmisión que es capaz por sí mismo de seleccionar todas las marchas o relaciones sin la necesidad de la intervención directa del conductor. El cambio de una relación a otra se produce en función tanto de la velocidad del vehículo como del régimen de giro del motor, por lo que el conductor no necesita ni de pedal de embrague ni de palanca de cambios; el simple hecho de pisar el pedal del acelerador provoca el cambio de relación conforme el motor varía de régimen de giro. El resultado que aprecia el conductor es el de un cambio cómodo que no produce tirones y que le permite prestar toda su atención al tráfico. Por lo tanto el cambio automático no sólo proporciona más confort, sino que aporta al vehículo mayor seguridad activa.

Los elementos fundamentales que componen la mayoría de los cambios automáticos actuales son: un convertidor hidráulico de par que varía y ajusta de forma automática su par de salida, al par que necesita la transmisión, un tren epicycloidal o una combinación de ellos que establecen las distintas relaciones del cambio, un mecanismo de mando que selecciona automáticamente las relaciones de los trenes epicycloidales. Este sistema de mando puede ser tanto mecánico como hidráulico, electrónico o una combinación de ellos.

Precisamente el control electrónico es la mayor innovación que disponen los cambios automáticos actuales dando al conductor la posibilidad de elegir entre varios programas de conducción mediante una palanca de selección, llegando actualmente a existir sistemas de control que pueden seleccionar automáticamente el programa de cambio de marchas más idóneo a cada situación concreta de conducción. Entre los datos que utilizan estos sistemas para sus cálculos se encuentran, la frecuencia con

que el conductor pisa el freno, la pendiente de la carretera, el número de curvas de la misma, etc.

1.2 Justificación

Los sistemas de transmisión automática están siendo utilizados en gran medida en los vehículos actuales, por la razón de que la ventaja fundamental que presentan los engranajes planetarios (epicicloidal) con los cuales cuenta este tipo de transmisiones frente a los engranajes utilizados en las cajas de cambios manuales es que su forma es más compacta y permite un reparto de par en distintos puntos a través de los satélites, pudiendo transmitir pares más elevados.

Por tal motivo nos vemos en la necesidad de implementar un banco didáctico de una transmisión automática de tren epicicloidal en la Escuela de Ingeniería Automotriz para que los alumnos complementen con la práctica los conocimientos teóricos obtenidos en su formación académica especialmente en el área de formación profesional.

Este banco didáctico permitirá observar de una forma fácil y comprensible el funcionamiento de todos los elementos que integran la transmisión automática en las diferentes maniobras que se realizan en los cambios de marcha. Con esto se pretende que los futuros Ingenieros Automotrices estén a la vanguardia de la tecnología y tengan una sólida formación académica.

1.3 Objetivos

1.3.1 *Objetivo general.* Implementar un banco didáctico de una transmisión automática de tren epicicloidal en la Escuela de Ingeniería Automotriz.

1.3.2 *Objetivos específicos*

Estudiar los principios básicos del funcionamiento de los convertidores hidráulicos de par y de los trenes epicicloidales.

Realizar el cálculo de las relaciones de transmisión de las diferentes marchas del banco didáctico a construir.

Diseñar y analizar los distintos elementos mecánicos necesarios para la adecuación del banco didáctico.

Diseñar y simular el circuito electrónico que controle los parámetros requeridos para el banco didáctico.

Construir y ensamblar tanto los componentes mecánicos como electrónicos que conforman el banco didáctico en su totalidad.

Realizar las pruebas de funcionamiento y mostrar la función de cada elemento del tablero de mandos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Principio operativo de las cajas de cambio automáticas

2.1.1 Generalidades. El cambio en el vehículo motorizado es el medio auxiliar técnico para convertir las fuerzas del motor en las condiciones de funcionamiento cambiantes.

Las operaciones de embragar y acoplar marchas representan la mayor parte del esfuerzo físico al conducir un vehículo motorizado. A fin de reducir notablemente este esfuerzo y aumentar la seguridad activa, para orientar la capacidad de reacción totalmente a las incidencias del tráfico, se utilizan los cambios que acoplan marchas automáticamente.

Los adelantos de la electrónica hacen posible enlazar funciones electrónicas e hidráulica, consiguiéndose así una conducción automática de alto rendimiento. Por esta razón, los vehículos motorizados modernos se equipan cada vez más con cambios automáticos.

2.1.2 Principio hidráulico de las transmisiones automáticas. A la transmisión automática se le conoce también como transmisión hidráulica. Cuando la palanca de cambios se encuentra en ciertas posiciones, la velocidad se hace variar por presiones hidráulicas, es decir, de una manera automática.

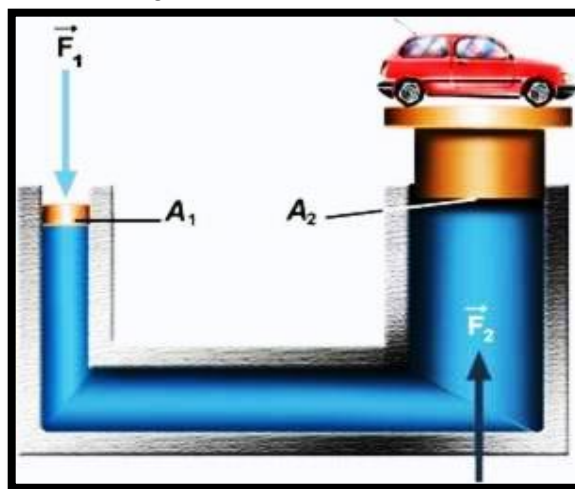
2.1.2.1 Principio de Pascal. El principio de Pascal que dice: “la presión aplicada sobre un fluido confinado en un recipiente, se transmite íntegramente en todas las direcciones y ejerce fuerzas iguales sobre áreas iguales, actuando estas fuerzas perpendicularmente sobre las paredes del recipiente contenedor”; cobra importancia en los sistemas hidráulicos del automóvil, específicamente en los frenos, la caja de transmisión automática, el embrague hidráulico, etc.

La palabra presión hidráulica se aplica cuando un aparato funciona por medio de la presión del agua u otro fluido. Por ejemplo lo que sucede con las prensas hidráulicas, las cuales permite amplificar la intensidad de las fuerzas. La Figura 1 representa una prensa hidráulica en la que un fluido llena un circuito, que consta de dos cuellos de diferente sección cerrados con sendos émbolos (pistones) ajustados, capaces de desplazarse dentro de los tubos (cilindros). Si se ejerce una fuerza (F_1) sobre el pistón

pequeño (A_1), la presión ejercida se transmite a todos los puntos del fluido dentro del recinto y produce fuerzas perpendiculares a las paredes.

En particular, la porción de pared representada por el pistón grande (A_2) recibe una fuerza (F_2) de forma que mientras el pistón pequeño baja, el pistón grande sube. La presión sobre los pistones es la misma, sin embargo las fuerzas no lo van a ser. Por lo que si la superficie del pistón grande es diez veces mayor que la del pequeño, entonces el módulo de la fuerza obtenida será diez veces mayor que la ejercida sobre el pistón pequeño. Dicho de otra forma para levantar el vehículo habrá que aplicar una fuerza diez veces menor utilizando esta prensa hidráulica que si lo quisiéramos levantar directamente. (NAVAS, 2007)

Figura 1. Prensa hidráulica



Fuente: <http://www.monografias.com/trabajos32/pascal-arquimedes-bernoulli/pas1.gif>

En general, en los sistemas hidráulicos existen dos tipos de presión: presión estática (hidrostática) y presión dinámica (hidrodinámica). Por ejemplo, en una represa existe presión estática cuando el agua se encuentra en reposo, pero cuando se abren las compuertas, el agua empieza a fluir y entonces la presión estática se convierte en presión dinámica.

En un automóvil sucede algo similar, en la sección del cárter de la transmisión existe una presión estática y desde el momento en que la transmisión empieza a funcionar, la presión estática se convierte en presión dinámica.

Además del principio de Pascal, Blaise Pascal diseñó una fórmula para determinar la presión que existe en un sistema hidráulico, que dice que la presión es igual a la fuerza sobre la superficie: $P = \frac{F}{A}$.

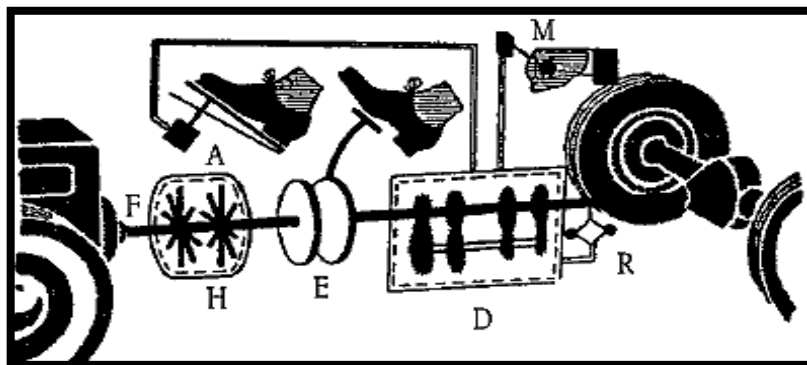
2.1.3 Teorías de las cajas de cambio automáticas. La gran mayoría de los automóviles tienen un embrague accionado por un pedal y una palanca manual para cambiar de velocidades. El cambio de velocidades manual ocasiona desgaste del embrague y de los mecanismos de la caja de cambios, razón por la cual nace la necesidad de implementar otro tipo de transmisión.

Las cajas de cambio automáticas realizan las operaciones de cambio de velocidades sin la intervención del conductor. Producen el arranque en marcha corta mientras el vehículo empieza a moverse hacia adelante y efectúan el cambio de dicha marcha corta a otra intermedia a medida que aumenta su velocidad.

Tres son los principales sistemas que han venido empleándose:

El primero: Turbo embrague con caja de cambios por desplazables de mando semiautomático y un embrague mecánico de disco en seco con su correspondiente pedal. El esquema de la transmisión se muestra en la Figura 2: en donde, la fuerza de motor (F) pasa por el acoplamiento hidráulico (H) y sigue por el embrague mecánico (E) hacia la caja de cambios por desplazables (D) la cual nos da la posibilidad de elegir dos marchas con la palanca de mano (M); pero cada una de estas marchas se divide en otras dos mandadas automáticamente que dependen del acelerador (A), el vacío de la admisión y un regulador (R) que depende de la velocidad del vehículo.

Figura 2. Caja de cambios de mando semiautomático

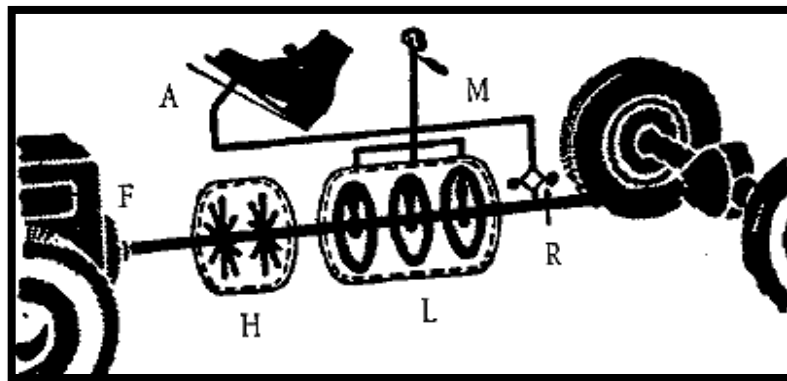


Fuente: ARIAS, Manuel y PAZ, Guittian. 2001. Manual de Automóviles

Después, con la modificación de usar fuerza hidráulica en lugar del vacío de la admisión, desde 1946, para mover los desplazables, dio lugar a la Transmisión M.6. Esta transmisión fue sustituida a partir de 1953 por otra del tercer grupo, convertidor de par con caja de planetarios. Actualmente es poco usado el sistema.

El segundo: Turbo embrague con caja de cambios enteramente automática de engranes planetarios, accionada por fuerza hidráulica según la posición del acelerador combinada con la velocidad del automóvil. Es la transmisión conocida con la marca “Hydramatic” que apareció en 1940 en los Oldsmobile y posteriormente es el sistema empleado en serie en muchos modelos. El esquema de la Figura 3 muestra el paso de la fuerza desde el motor (F) por el embrague hidráulico (H) a la caja de planetarios (L) en la que dos juegos de engranajes dan las cuatro marchas adelante automáticamente por la acción combinada del acelerador (A) con un regulador (R) gobernado por la velocidad del vehículo. No se usa pedal de embrague. La palanca (M) sirve para mandar con la mano marcha atrás, el punto muerto y el funcionamiento de sólo 1ª y 2ª en mal estado de la carretera.

Figura 3. Caja de cambios enteramente automática de engranes planetarios



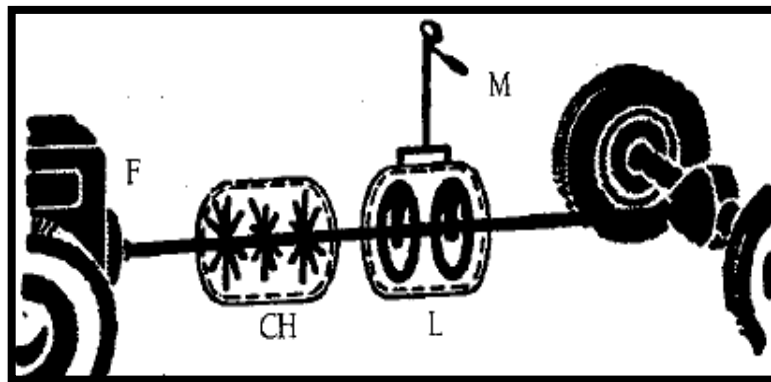
Fuente: ARIAS, Manuel y PAZ, Guittian. 2001. Manual de Automóviles

Tanto la Hydramatic como las del tipo M.6 por el hecho de utilizar un turbo embrague que se calienta en el resbalamiento, implican un consumo adicional de combustible de un 5% si no se abusa de aquel; es decir, si no se obliga a que va resbalando por llevar el motor deprisa a régimen de pocas revoluciones. La conducción con Hydramatic resulta cómoda y con suave flexibilidad de marcha, así con una aceleración excelente en las arrancadas cuando existe tráfico urbano.

El tercero: Convertidor de par con caja de planetarios prácticamente automática, los primeros modelos de ésta clase fueron usados por los autobuses y luego por los de General Motors. En 1948 se aplicó el sistema a vehículos de turismo con la transmisión “Dynaflow”, de Buick. Posteriormente la han ido montando, con pequeñas variaciones todas las marcas americanas que no emplean la Hydramatic, y algunas europeas en sus modelos medios y grandes.

El “convertidor” es un embrague hidráulico al que por añadirle una o más coronas de alabes se consigue que convierta el resbalamiento en mayor esfuerzo de giro (par), es decir, que lo que pierde en velocidad se gana en fuerza. Esto equivale a un cambio automático continuo, no por escalones como cuando se pasa de una a otra combinación de engranajes. Como no se puede hacer un convertidor de par que dé toda la amplitud de variación necesaria, se añaden dos o tres combinaciones, según las marcadas automáticamente por la caja de planetarios. En la Figura 4 se señala el paso de la fuerza del motor (F) por el convertidor hidráulico (CH) y caja de planetarios (L) gobernada por la palanca (M) que da dos combinaciones únicas: “marcha normal” y “reducida” para casos excepcionales, pues la variación que dentro de cada una de ellas se consigue en el Hydramatic con dos escalones de paso automático, aquí es la que de modo continuo da el convertidor de par (CH), aparte del paso continuo que puede haber entre dos combinaciones de engranajes de la caja de planetarios.

Figura 4. Convertidor de par con caja de planetarios prácticamente automática



Fuente: ARIAS, Manuel y PAZ, Guittian. 2001. Manual de Automóviles

Al no existir pedal de embrague la conducción resulta más cómodo y suave; prácticamente con los motores americanos de 200 a 300 CV, no hay que ocuparse del cambio, solamente del acelerador y el freno; pero el consumo de combustible puede subir un 20% respecto al de los mismos vehículos con caja normal de desplazables. (ARIAS, y otros, 2001)

2.2 Convertidores de par

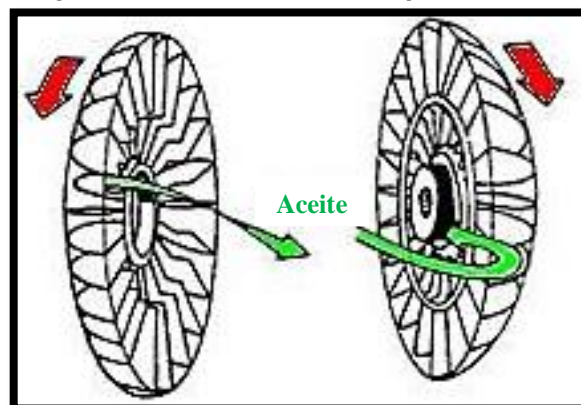
Los motores térmicos empleados en los automóviles tienen un rango de velocidades de giro en los que pueden funcionar. Por ello, para poder arrancar desde el reposo es necesario independizar el giro del eje motor del giro del eje que proporciona movimiento a las ruedas del vehículo. El elemento que hace esto posible es el

embrague. En los vehículos con caja de cambios manual el embrague es mecánico y se acciona mediante un pedal que hace que los ejes del motor se desconecten. En los automóviles dotados de transmisión automática la operación de embrague es hidráulica.

2.2.1 Embrague hidráulico. El embrague hidráulico, actúa como embrague automático entre el motor y la caja de cambios que, en estos casos, suele ser automática o semiautomática. Dicho embrague permite que el motor gire al ralentí (en vacío) y además transmite el par motor cuando el conductor acelera.

El embrague hidráulico basa su funcionamiento en la transformación de energía mecánica en energía hidráulica y viceversa. Se emplea por lo tanto un fluido para transmitir la potencia. Estos embragues están formados por una bomba centrífuga o impulsor y una turbina (ver Figura 5). El motor hace girar a la bomba con lo que la energía mecánica de giro del eje motor se transforma en la bomba en energía hidráulica.

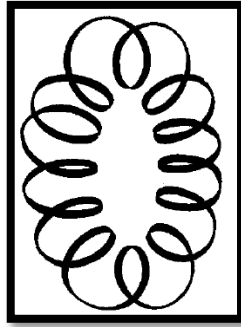
Figura 5. Coronas del embrague hidráulico



Fuente: <http://www.aficionadosalamecanica.com/images-caja-cambios/coronas-embrague.jpg>

El fluido impulsado en la bomba incide en los alabes de la turbina que va fijada al eje de la caja de cambios. En la turbina el fluido transmite su energía hidráulica al eje haciéndolo girar y convirtiéndose por tanto de nuevo en energía mecánica. El fluido una vez atravesada la turbina es redireccionado a la bomba completando el ciclo. El camino que recorre el fluido se denomina torbellino tórico, el cual se puede apreciar en la Figura 6. Cuando el vehículo se encuentra en reposo el motor gira lentamente. La energía que el impulsor transmite a la turbina es insuficiente para vencer el par resistente opuesto por el peso del vehículo.

Figura 6. Torbellino tórico



Fuente: ARIAS, Manuel y PAZ, Guittian. 2001. Manual de Automóviles

La turbina permanece sin girar y hay un resbalamiento total entre bomba y turbina por lo que la eficiencia es nula. A medida que las revoluciones del motor van subiendo, la energía suministrada a la turbina aumenta progresivamente hasta que se consigue vencer el par resistente y comienza a girar. En este proceso la eficiencia va subiendo puesto que el resbalamiento es cada vez menor. Siempre existe un resbalamiento entre el impulsor y la turbina, que cuando el motor gira muy rápido es aproximadamente del 2%.

Sea cual sea el resbalamiento el par motor se transmite íntegro a la transmisión. Así aunque se acelere el motor muy rápido el vehículo se mueve progresivamente ya que gracias al resbalamiento no hay resistencia y el motor alcanza una velocidad suficientemente elevada, transmitiendo el par máximo.

De forma análoga, al subir una pendiente pronunciada aumenta el par resistente bajando así la velocidad del automóvil. A pesar de todo, un aumento del resbalamiento hace posible que se transmita el par máximo pudiendo subir la cuesta en directa, aunque sea a costa de una eficiencia menor. Este tipo de embragues no pueden ser empleados en transmisión manual puesto que, por poco que sea, siempre se está transmitiendo un par de un eje al otro y eso hace imposible la maniobra de cambio de marcha. Además, presentan la ventaja de que no hay desgaste y el inconveniente de que, debido al resbalamiento entre impulsor y turbina, se produce un calentamiento y eso reduce el rendimiento.

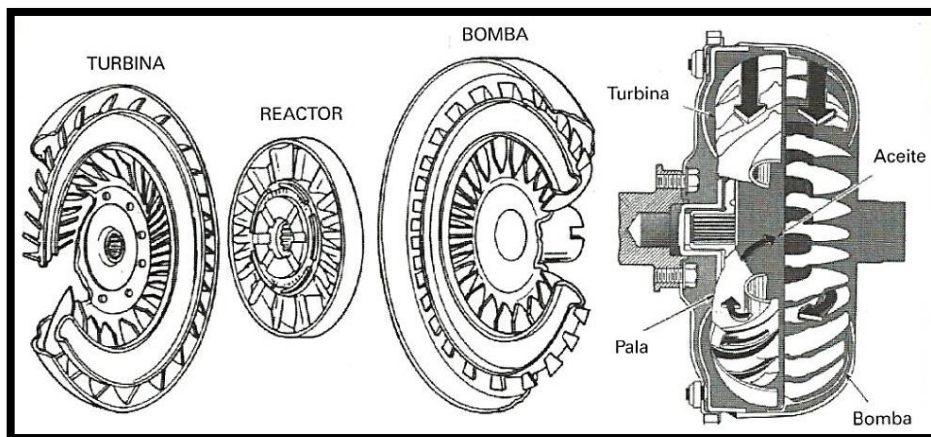
2.2.2 Convertidor hidráulico de par. El convertidor hidráulico de par realiza su función, basándose en los efectos hidráulicos que se producen en los embragues de este tipo, a los cuales se asemeja en su constitución, comportándose de idéntica forma en algunas fases de su funcionamiento, pero con diferencias fundamentales en

otras, que le capacitan para transmitir pares de salida superiores varias veces al de entrada, lo que no es posible lograr con el simple embrague hidráulico.

El convertidor hidráulico de par actúa como embrague cuando el vehículo ha de iniciar el movimiento partiendo del reposo, ejerciendo la máxima tracción cuando la turbina está en pérdida o funcionamiento lento, lo que corresponde al instante en que se requiere el máximo par. Conforme aumenta la velocidad de la turbina, la multiplicación del par disminuye automáticamente, hasta que el par de salida es aproximadamente igual al de la entrada, existiendo muy poca diferencia entre las velocidades del impulsor y la turbina.

Esencialmente el convertidor se diferencia del embrague hidráulico en que incluye un nuevo elemento, denominado reactor, instalado entre la bomba y la turbina, que recoge el aceite a la salida de esta última y le da una orientación adecuada para que incida convenientemente en los álabes de la bomba (ver Figura 7). Al entrar el líquido en ésta con una inclinación adecuada, se restituye una parte de la energía no gastada en la turbina, o lo que es igual, se ayuda a que gire la bomba, lo que constituye un aumento del par motor.

Figura 6. Elementos del convertidor hidráulico de par

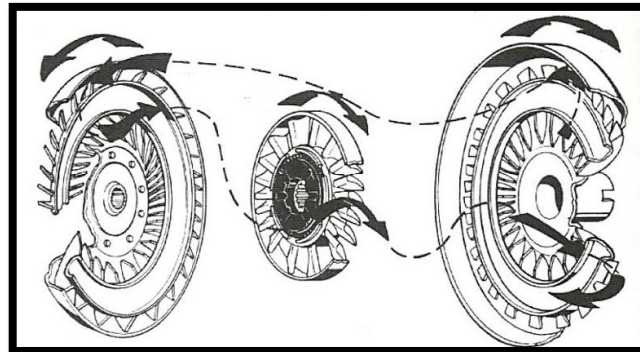


Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

Al contrario de los embragues hidráulicos, en los que las palas del impulsor y la turbina son rectas, en los convertidores hidráulicos las palas de éstos, así como las del reactor, forman unos determinados ángulos de entrada y salida coordinados entre sí, estando correspondientemente curvadas. En el funcionamiento, el aceite es enviado desde la bomba, directamente hacia la turbina, proyectándose de esta forma por la

acción de la fuerza centrífuga (ver Figura 8). Ya en la turbina resbala hacia el centro de la misma, para salir desde aquí hacia el reactor con la debida orientación para incidir en sus álabes, que desviarán el aceite nuevamente para hacerlo incidir sobre los álabes de la bomba en su zona central. Desde ésta, por la acción de la fuerza centrífuga pasa a la zona externa para salir proyectado nuevamente hacia la turbina, formando así el torbellino tórico.

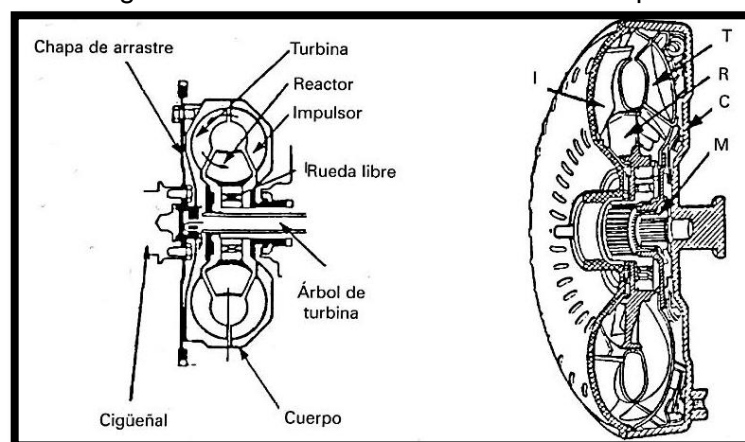
Figura 7. Sentido del movimiento del aceite



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

En la Figura 9 puede verse esquemáticamente y en sección la realización de un convertidor hidráulico de par, donde la bomba o impulsor (I) se encuentra unida al cigüeñal a través de la carcasa (C), mientras que la turbina (T) se enlaza al eje primario de la caja de velocidades. El reactor (R) está montado sobre el cárter de la caja de cambios a través de una rueda libre. De esta manera, la turbina gira libremente en el interior de la carcasa, unida a la bomba.

Figura 8. Estructura de un convertidor de par



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

Al girar la bomba, el aceite que se encuentra entre sus palas es lanzado hacia afuera y la turbina por efecto de la fuerza centrífuga. La energía mecánica cedida por el motor es transmitida en forma de energía hidrodinámica a la turbina, dentro de la cual esta energía del aceite vuelve a transformarse en energía mecánica (par y número de revoluciones) al desviarse la vena líquida en los canales curvados de las paletas.

El aceite que sale de la turbina en contra del sentido de giro incide sobre el reactor, que es retenido por la rueda libre en la dirección de giro contraria al impulsor. Las palas del reactor desvían el aceite de nuevo en el sentido de giro de la bomba y, debido a esta desviación, en el reactor se produce un par que a través de la rueda libre encuentra apoyo en el cárter y se transmite por el aceite a la bomba.

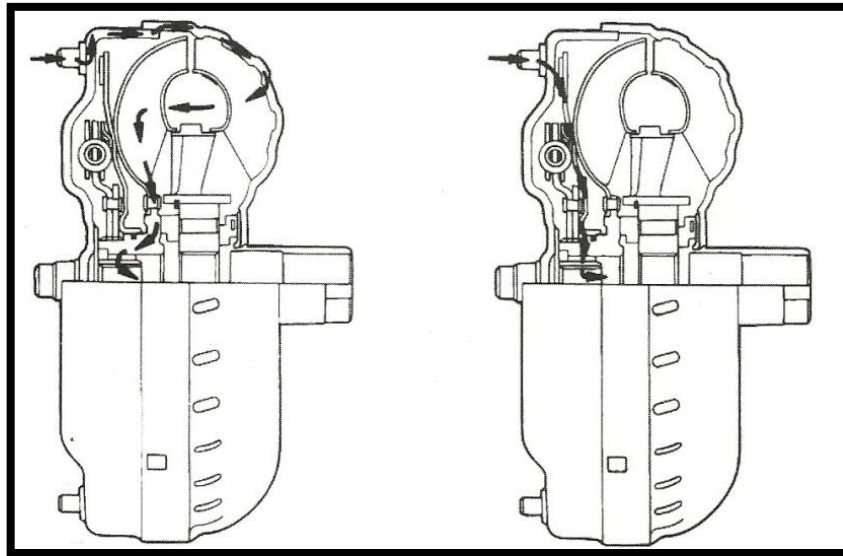
La suma de los dos pares (el cedido por el motor a la bomba y el transmitido por el reactor a esta misma), es igual al par cedido por la turbina a la caja de cambios. La relación entre el par saliente y el entrante en el momento de arrancar el vehículo es aproximadamente 3:1. La conversión va disminuyendo a medida que aumenta el número de revoluciones de la turbina, cambiando también continuamente el sentido de incidencia de la corriente sobre el reactor y su desviación en el mismo.

Si la corriente de aceite incide sobre el dorso de las paletas del reactor, ya no tiene lugar ninguna desviación en él, por lo que comienza a girar en el mismo sentido que la bomba y la turbina, alcanzando la conversión de par el valor 1. Este momento de servicio, en el que la relación del número de revoluciones es de 0,86 a 0,91:1, se denomina punto de embrague. Por encima del mismo, el convertidor realiza la función de un embrague hidráulico y alcanza un rendimiento máximo de un 98%.

2.2.2.1 Convertidor de bloqueo. Dados los costos actuales de los combustibles, el convertidor de bloqueo se ha convertido en una opción estándar incluida en la mayoría de las aplicaciones de los convertidores actuales. Este tipo de convertidor permite transmitir el par de dos maneras: hidráulicamente, cuando se demanda la acción normal del convertidor, o mecánicamente para velocidades de crucero, bloqueando el convertidor hidráulico.

La Figura 10 muestra la configuración de un convertidor de bloqueo en sus dos fases de funcionamiento. En la fase de marcha normal (detalle de la izquierda), la transmisión del movimiento se realiza de la manera convencional desde el impulsor a la turbina, la cual transmite el giro al eje de entrada de la transmisión.

Figura 10. Convertidor de bloqueo



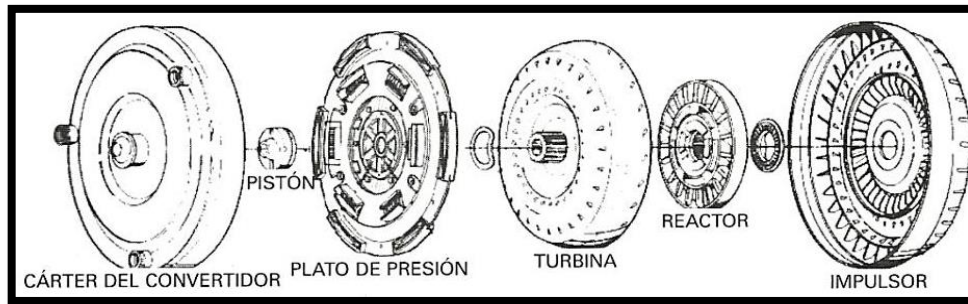
Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

En la fase de bloqueo (detalle de la derecha), la turbina se hace solidaria de la carcasa del convertidor y gira conjuntamente con el impulsor. El bloqueo mecánico deriva la propulsión hidráulica del convertidor y conecta el cigüeñal del motor directamente con el árbol de entrada de la transmisión y su conjunto de engranajes planetarios. El deslizamiento normal que se da entre el impulsor del convertidor y la turbina durante la fase de acoplamiento queda eliminado. La eficacia mejorada en la transmisión del par disminuye el consumo de combustible.

El sistema de mando para obtener el bloqueo del convertidor consiste en un embrague acoplado a la turbina, comandado por un dispositivo de tipo electrohidráulico, controlado por medios electrónicos. La Figura 11 muestra en despiece este sistema. Sobre la turbina se monta estriado el plato de presión, cuya cara externa está dotada de un forro de fricción, que puede acoplarse a la tapa del cárter del convertidor, actuando contra ella como un disco de embrague.

El empuje del plato de presión contra la tapa del cárter se logra por medio de un pistón hidráulico y, cuando ello ocurre, la turbina se hace solidaria del cárter del convertidor quedando éste bloqueado. Para atenuar las vibraciones torsionales, el plato de presión está dotado de una serie de muelles de amortiguación, montados entre el propio plato y el buje del mismo, de manera similar a la de los discos de embrague convencionales.

Figura 11. Despiece del convertidor de bloqueo



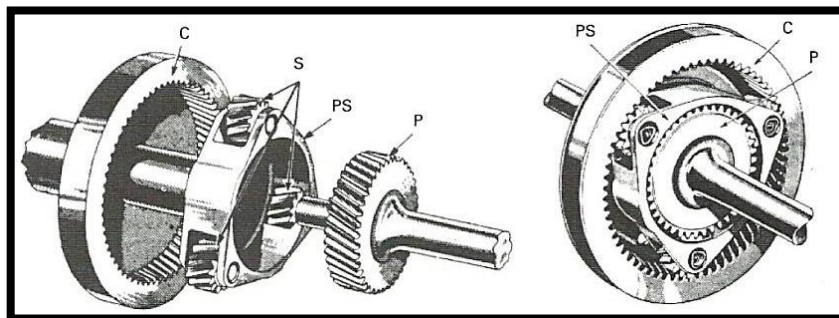
Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.3 Trenes epicicloidales

Las cajas de cambio automáticas utilizan para la transmisión del movimiento un tipo de engranajes llamados epicicloidales o planetarios, en los que pueden obtenerse diferentes combinaciones sin necesidad de mover piñones ni coronas desplazables. Las ruedas dentadas se encuentran permanentemente engranadas y un cambio de marcha se obtiene mediante el accionamiento hidráulico de embragues y cintas de freno, adecuadamente combinados, que frenan o bloquean los distintos componentes del sistema planetario.

Un tren epicicloidal está constituido por un piñón planetario (P), con dentado externo, los satélites (S) en número de tres generalmente, el portasatélites (PS) al cual se fijan éstos en sus ejes de giro y la corona (C) dentada interiormente (ver Figura 12). Un tren de estas características puede suministrar varias relaciones y para obtener cada desmultiplicación basta con solicitar dos de los elementos del tren. De esta manera, las distintas relaciones se obtienen por el frenado de cualquiera de los componentes (planetario, satélites o corona), o bloqueando el tren completo.

Figura 9. Tren epicicloidal

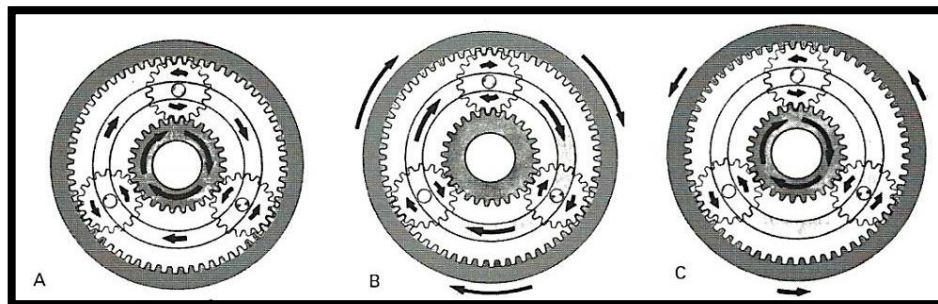


Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

Las distintas relaciones se obtienen en la práctica de la siguiente forma:

Cuando se frena la corona (detalle A de la Figura 13) y se da movimiento al planetario, se produce el arrastre de los satélites por parte de éste, que ruedan sobre el dentado de la corona, produciendo a su vez la rotación del portasatélites, resultando así la desmultiplicación grande. Si el movimiento se diera al portasatélites, se produciría el arrastre del planetario y una multiplicación de giro.

Figura 10. Obtención de movimiento en un tren epicicloidal



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

Si el planetario es retenido (detalle B) y se da movimiento a la corona, se obtiene el arrastre de los satélites, que ruedan sobre el dentado planetario, impulsando al portasatélites, consiguiéndose una relación de desmultiplicación relativamente pequeña. Por el contrario, si se da movimiento a los satélites se produce el arrastre de la corona, con la consiguiente multiplicación de giro.

Frenando el portasatélites y dando movimiento al planetario (detalle C), se produce el arrastre de la corona, pues los satélites giran sobre sus ejes, impulsados por el planetario, transmitiendo el movimiento de éste a la corona, que gira en sentido contrario, obteniéndose una desmultiplicación. Esta combinación tiene aplicación en la marcha atrás. Dando movimiento a la corona, se obtendría una multiplicación del giro transmitido al planetario.

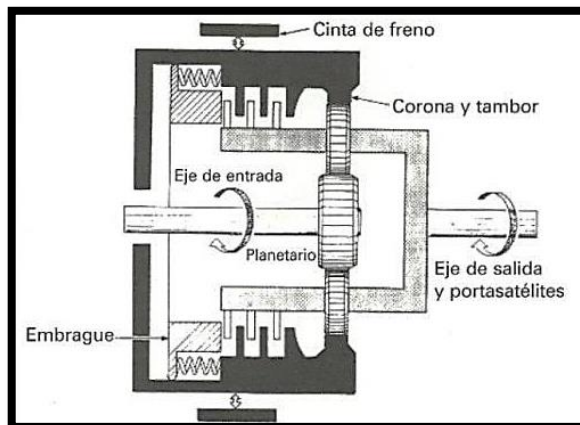
Bloqueando los elementos entre sí y dando movimiento al planetario, el conjunto gira solidario efectuando una transmisión directa de movimiento.

Cuando no se frena ninguno de los elementos se obtiene la condición de punto muerto, en la cual, aunque se dé movimiento a cualquiera de ellos, los demás giran libremente.

2.3.1 Combinación de trenes epicicloidales. Mediante la utilización de un tren de engranajes planetarios, pueden obtenerse distintas desmultiplicaciones frenando y dando movimiento a los distintos componentes, como ya se ha visto. No obstante, con el fin de ajustar las relaciones de desmultiplicación a las necesidades del vehículo, las cajas de cambio automáticas suelen disponer varios trenes epicicloidales, de los que ciertos elementos están unidos entre sí de forma permanente y otros se enclavan temporalmente por medio de sistemas de embrague, o son detenidos por medio de frenos de cinta accionados, como los embragues, por dispositivos hidráulicos, para obtener distintas relaciones.

2.3.1.1 Un solo tren epicicloidal. Es posible utilizar un solo tren planetario como sistema de transmisión, con la que se obtiene una relación de desmultiplicación y una relación directa. La Figura 14 muestra esta disposición, en la que puede verse que la corona del tren planetario forma parte de un tambor que puede ser bloqueado por una cinta de freno o acoplado al portastélites por medio de un embrague. El eje de entrada del movimiento está unido al piñón del planetario, mientras que el eje de salida se fija al portastélites. Cuando se activa la cinta de freno, la corona queda bloqueada y el movimiento del planetario es transmitido al portastélites con una reducción. Cuando se activa el embrague, la corona y el portastélites se hacen solidarios quedando bloqueado el tren planetario, por lo que el movimiento de entrada es transmitido directamente al eje de salida, sin reducción.

Figura 11. Disposición del tren planetario para la obtención de dos relaciones



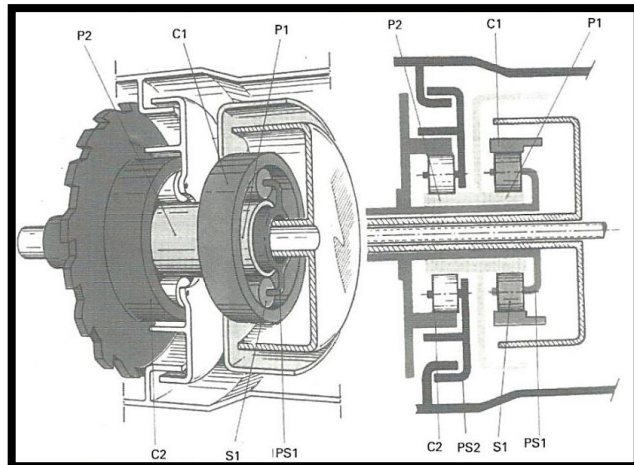
Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

En algunas aplicaciones se diseña el tren planetario de manera que en ciertas condiciones de funcionamiento se transmita el movimiento de entrada al piñón planetario y a la corona al mismo tiempo. Si ambos elementos giran a las mismas

revoluciones y en la misma dirección, el resultado obtenido en la salida del portasatélites es una transmisión directa; pero si las velocidades de rotación del planetario y la corona son diferentes y en la misma dirección, se desarrolla otro modelo de comportamiento, es decir, una reducción de desmultiplicación diferente.

2.3.1.2 Combinación de dos trenes epicicloidales. La Figura 15 muestra esquemáticamente la combinación de dos trenes epicicloidales (montaje Simpson), cuyos elementos constitutivos son idénticos. Están vinculados entre sí por los planetarios (P1) y (P2), labrados en un solo piñón y por la unión rígida del portasatélites (PS) con la corona (C2). La salida del movimiento se realiza en esta disposición por medio del eje del portasatélites (PS1), como puede verse en la figura, mientras que la entrada de movimiento se efectúa a través de un eje inferior al del portasatélites (el rayado en la figura), que termina en un tambor, que puede ser embragado al perteneciente a los planetarios (P1 y P2, exterior a él), o la de la corona (C1, interior).

Figura 12. Combinación de dos trenes epicicloidales



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

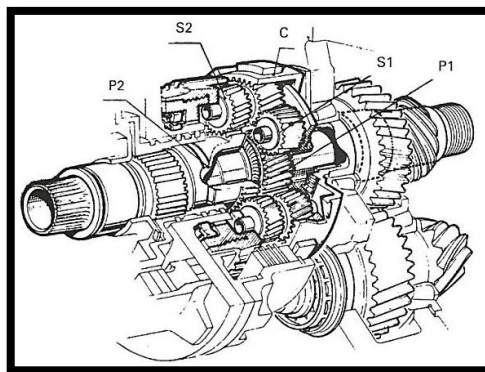
Generalmente, las transmisiones automáticas utilizan una combinación de dos o más trenes planetarios (cajas Wilson) para la obtención de las distintas relaciones de marcha.

2.3.1.3 Agrupación dos en uno. En otros modelos de cajas automáticas, se adopta una disposición especial de los trenes de engranajes epicicloidales, en lo que puede definirse como “agrupación dos en uno”, en la que se utiliza una sola corona, común a los dos trenes, cada uno de los cuales está dotado de sus correspondientes

planetarios y satélites, de los cuales los primeros son independientes entre sí, mientras que los segundos estén enlazados por engrane directo. Este tipo de disposición se conoce con el nombre de “planetario Ravigneaux”.

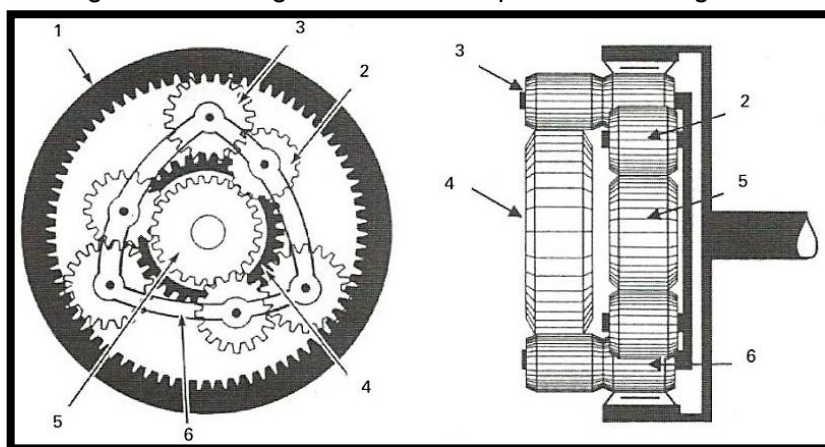
La Figura 16 muestra esta disposición, donde puede verse la corona (C) engrana directamente con el conjunto de satélites (S2), montados sobre el mismo eje portasatélites, de manera que uno de ellos engrane en el planetario (P2), mientras el otro está engranado al satélite (S1), quien a su vez lo hace con el planetario (P1). Tanto los satélites (S1), como los (S2), se encuentran fijados a la misma corona portasatélites. La Figura 17 muestra en vista frontal y perfil este mismo sistema, donde se aprecia la disposición de engranaje de los planetarios 4 y 5 con sus respectivos satélites 3 y 2, engranados a su vez entre sí y el último de ellos, además, con la corona 1.

Figura 13. Estructura de un tren planetario Ravigneaux



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

Figura 14. Configuración del tren planetario Ravigneaux



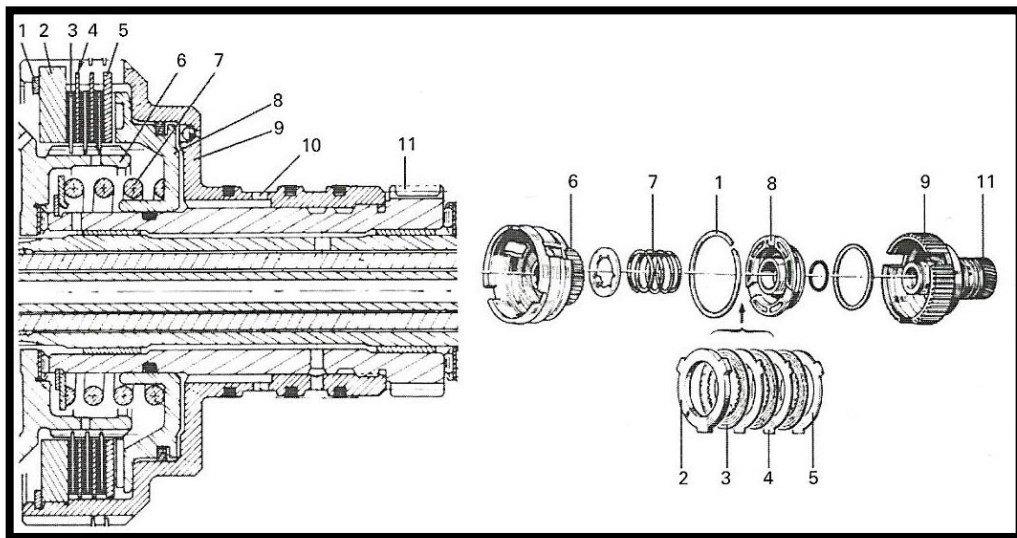
Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.4 Elementos mecánicos de mando

En las cajas automáticas, la selección progresiva de las distintas relaciones de marcha se consigue, como ya se ha dicho, mediante la utilización de distintos frenos y embragues, que actúan sobre tambores apropiados, los cuales están instalados sobre los ejes de planetarios, corona o portastélites. Estos frenos y embragues son accionados por sistemas hidráulicos. Otros elementos de mando mecánico de las cajas automáticas son la rueda libre y el dispositivo mecánico de aparcamiento.

2.4.1 Embragues. Se emplean embragues multidisco en baño de aceite, accionados por un circuito hidráulico.

Figura 15. Constitución de un embrague multidisco



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

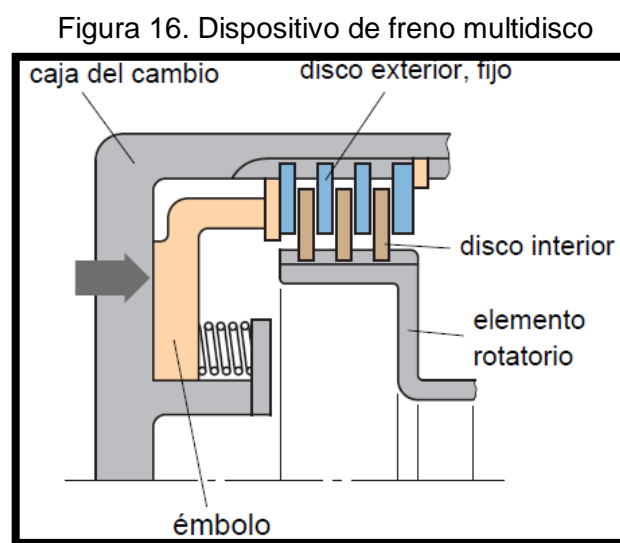
El embrague dispone de dos tipos de discos: los guarnecidos (3), unidos al elemento que recibe el giro desde la turbina del convertidor de par, y los de acero (4), solidarios al elemento a arrastrar.

Cuando se requiere embragar ambos elementos, el circuito hidráulico proporciona la presión necesaria para desplazar el pistón (8) y con ello oprimir las parejas de discos hasta que por rozamiento los guarnecidos arrastren a los de acero sin deslizamiento relativo, haciéndolos solidarios, con lo cual el giro que desde la turbina del convertidor hidráulico recibe el buje (6), es transmitido a la campana (9) y planetario (11), a través del conjunto de discos. Cuando no actúa la presión, un muelle antagonista retira el

pistón y elimina el empuje de éste, con lo que se produce el desacoplo entre el tambor (6) y la campana (9), que en este caso ya no resulta arrastrada en el giro.

2.4.2 Frenos. Los frenos pueden ser de dos tipos: multidisco y de cinta

2.4.2.1 Frenos multidisco. Los frenos multidisco se utilizan para retener un elemento del tren epicycloidal. Son similares a los embragues multidisco y poseen asimismo discos interiores y exteriores. Los discos interiores también están unidos con el elemento giratorio mediante salientes, mientras que los discos exteriores están fijos, apoyados en la caja del cambio.



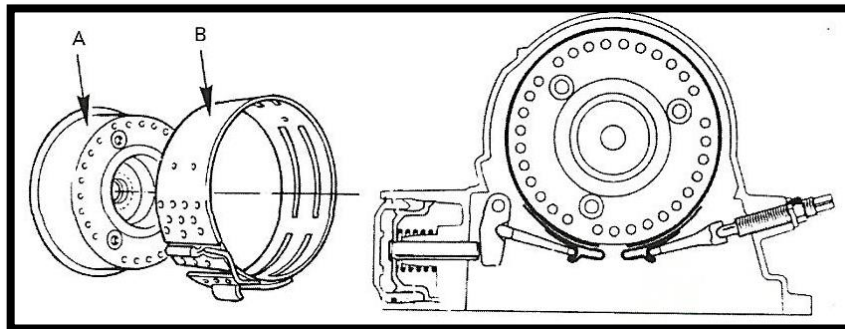
Fuente: http://www.cambiosytransfers.es/archivos/informacion/121002170439_elementos_del_cambio_2.jpg

En la activación, un émbolo hidráulico comprime el conjunto de discos. Al contrario del embrague de discos, el émbolo hidráulico se encuentra fijo, es decir, no gira simultáneamente con el conjunto. También en el freno de discos es de importancia el juego entre los discos para un funcionamiento perfecto del acoplamiento de marchas, por lo que se ajusta por separado.

2.4.2.2 Frenos de cinta. En otros modelos de cajas automáticas, el sistema de discos se sustituyen por una cinta de freno (B), fijada a la carcasa de cambio, que actúa sobre el exterior de un tambor (A) para bloquearlo (ver Figura 20). En el interior de este tambor se aloja el tren planetario, cuyo planeta forma parte del mismo tambor de freno, que de esta manera puede ser frenado en determinados momentos. El accionamiento de la cinta de freno se consigue en este caso por medio de un servo,

cuyo pistón es desplazado por la presión hidráulica, provocando el cierre de la cinta de freno, a la que se enlaza por medio de un vástago.

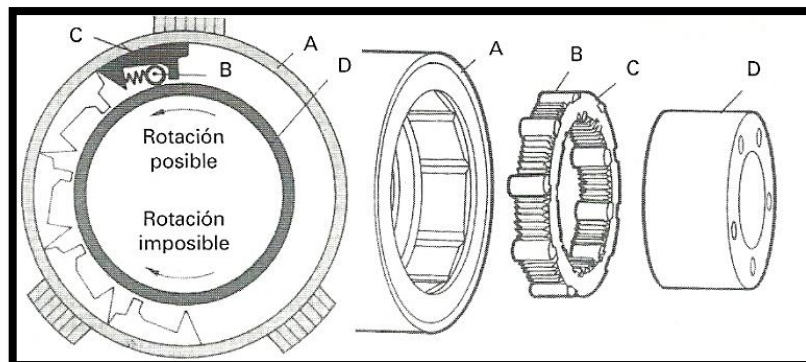
Figura 17. Sistema de mando de la cinta de freno



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.4.3 Rueda libre. Se trata de un dispositivo que actúa sobre algún elemento del tren impidiendo su giro en uno de los sentidos. La Figura 21 muestra este mecanismo aplicado al portasatélites del tren. El elemento fijo (A) es una corona solidaria a la carcasa del cambio, mientras que la corona (D) está vinculada al portasatélites. La rotación antihoraria comprime los muelles al arrastrar los rodillos (B). La rotación horaria arrastra los rodillos hacia el otro lado, en el cual quedan acuñados y sin posibilidad de giro. Por tanto, la corona (D) tampoco puede girar y la transmisión no gira.

Figura 18. Dispositivo de rueda libre

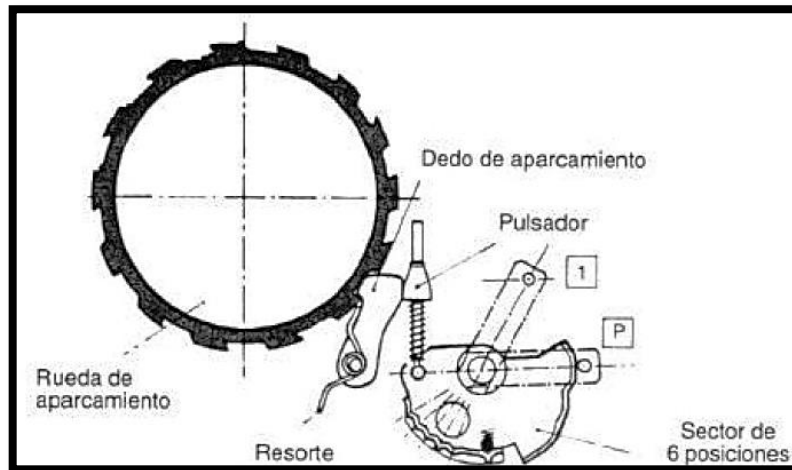


Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.4.4 Rueda de aparcamiento. Se trata de un mecanismo de enclavamiento que se emplea para estacionar el vehículo impidiendo cualquier movimiento de éste. Al colocar la palanca de mando en la posición "P" actúa el dispositivo de la Figura 22. La rueda de aparcamiento es una corona dentada instalada en el árbol de salida, entre

cuyos dientes puede encajarse el dedo de aparcamiento. Si al seleccionar la posición “P” el dedo no consigue encajar en algún hueco de la rueda de aparcamiento el vehículo no estará bloqueado y podrá desplazarse. Sin embargo, en cuanto lo haga, la rueda de aparcamiento girará y un muelle que actúa sobre el dedo hará efectivo el bloqueo.

Figura 19. Mecanismo de enclavamiento de la rueda de aparcamiento



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.5 Elementos hidráulicos de mando

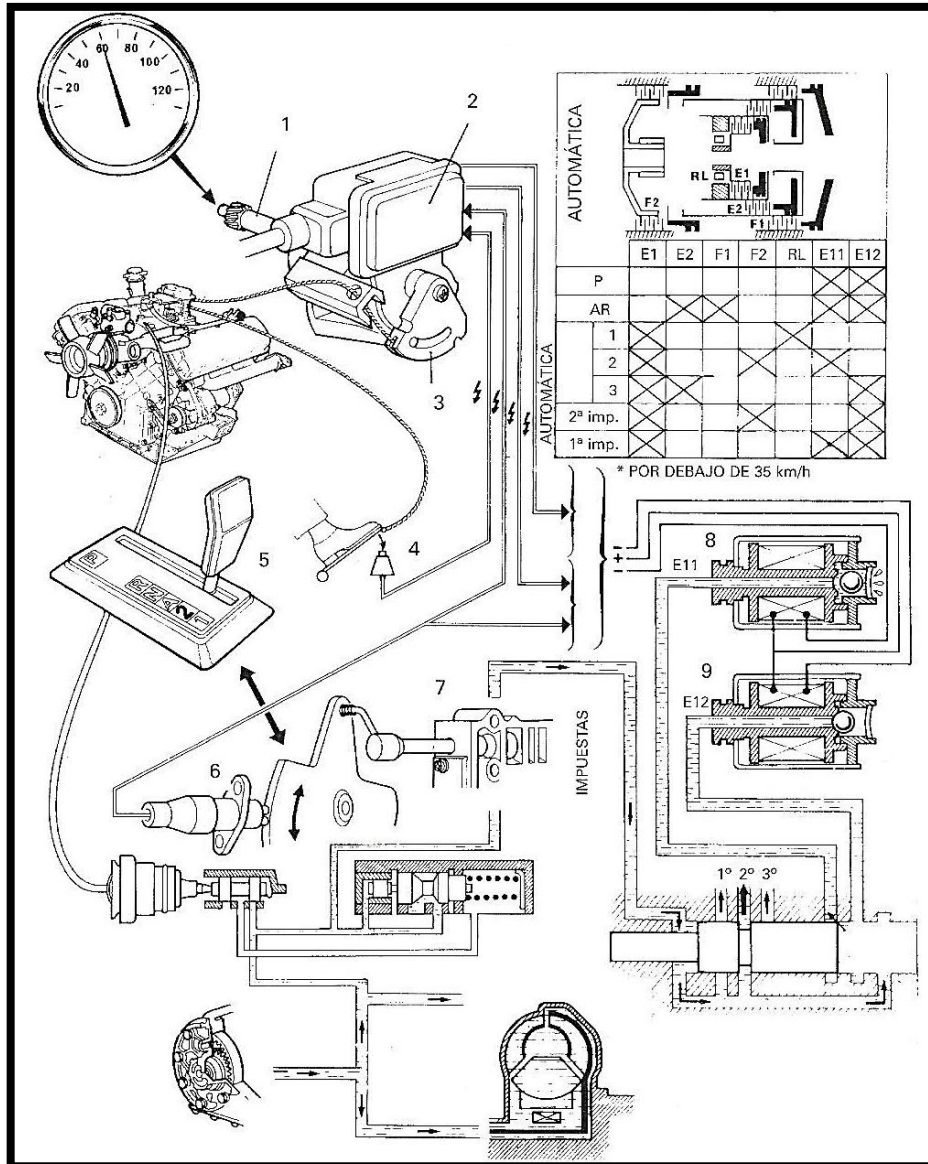
La selección automática de las distintas relaciones de marcha en los cambios automáticos se realiza mediante circuitos hidráulicos comandados por elementos electrónicos. La Figura 23 muestra la estrecha relación entre las dos tecnologías.

Los elementos de captación de la figura son los siguientes:

- 1 Captador de la velocidad del vehículo
- 3 Captador de la posición del acelerador
- 4 Interruptor de fin de recorrido del acelerador
- 6 Interruptor general de la posición de la palanca de cambio

Toda esta información le llega al calculador electrónico (2) que gobierna las electroválvulas (8) para comandar los embragues y frenos necesarios para activar las velocidades que procedan. Por tanto, los circuitos electrónicos gobiernan a los hidráulicos, que son los que hacen efectivos los cambios de relación de marcha.

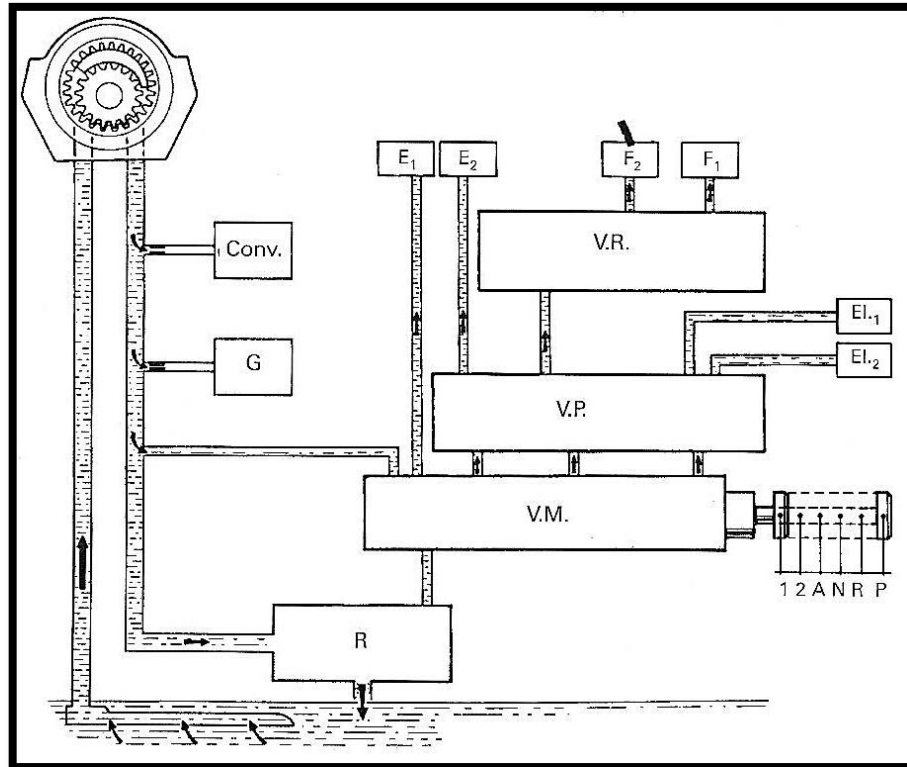
Figura 23. Componentes del sistema de mando de una caja automática



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

El circuito hidráulico cuenta con una bomba de aceite que habitualmente es de engranajes de dentado interior y que suministra un caudal de aceite proporcional a la velocidad del motor. La bomba toma ese aceite del cárter inferior, lo filtra y envía ese caudal a los diferentes circuitos de accionamiento y engrase (ver Figura 24). Por tanto, la bomba sólo impone el caudal, pero no la presión, que viene dada por la carga del motor y regulada por una válvula específica (R). La presión de alimentación suele variar entre 3 y 5 bares y es aplicada por el distribuidor hidráulico a la válvula manual (VM) y a través de ella a la de paso (VP), la de secuencias (VR), los frenos (F1, F2), embragues (E1 y E2) y electropilotos (E11 y E12).

Figura 24. Circuito hidráulico de las válvulas del sistema de mando



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

La válvula manual (VM) informa al distribuidor hidráulico de las posiciones de punto muerto, marcha adelante y marcha atrás. Así, abre o cierra los circuitos correspondientes para alimentar los componentes que en cada caso corresponda. La válvula reguladora de presión (R) actúa desplazando una corredera que permite desahogar el exceso de presión derivando aceite al cárter. La presión de trabajo vendrá impuesta como se ha dicho, por la carga del motor. Así, con el motor en ralentí la presión de trabajo es baja por ser el par a transmitir bajo también, mientras que cuando el motor funciona a plenos gases la presión de trabajo será mucho mayor. Por tanto, en cada caso la presión debe regularse a un valor distinto.

2.6 Funcionamiento del sistema hidráulico

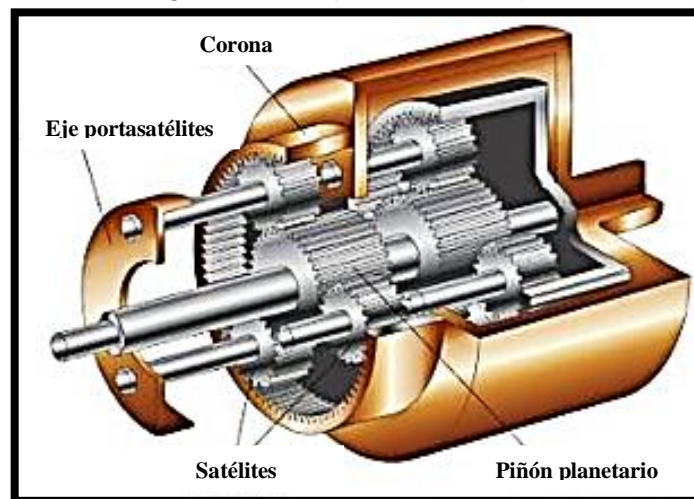
El funcionamiento de las cajas de cambio automáticas está regulado por el circuito hidráulico, como ya se ha dicho, que es el que determina la relación apropiada en función de las condiciones de funcionamiento del motor y la marcha del vehículo entre otras. En la selección de las marchas intervienen la válvula manual y las válvulas de paso, junto con los electropilotos incorporados a ellas que reciben las señales eléctricas de una central electrónica.

2.7 Transmisión con montaje Simpson

Es una de las disposiciones más sencillas de trenes epicicloidales que consigue tres relaciones de avance y una de retroceso. Fue inventada por Howard W. Simpson y empleada por primera vez en 1957 en las transmisiones de Chrysler. Desde entonces ha sido utilizada en la mayoría de las cajas automáticas de trenes epicicloidales.

La transmisión con montaje Simpson consiste en una disposición de dos trenes epicicloidales, iguales unidos por un piñón planetario común para los dos trenes; el resto de elementos se acoplan entre sí dependiendo de la entrada y salida de la fuerza (ver Figura 25).

Figura 20. Acoplamiento Simpson



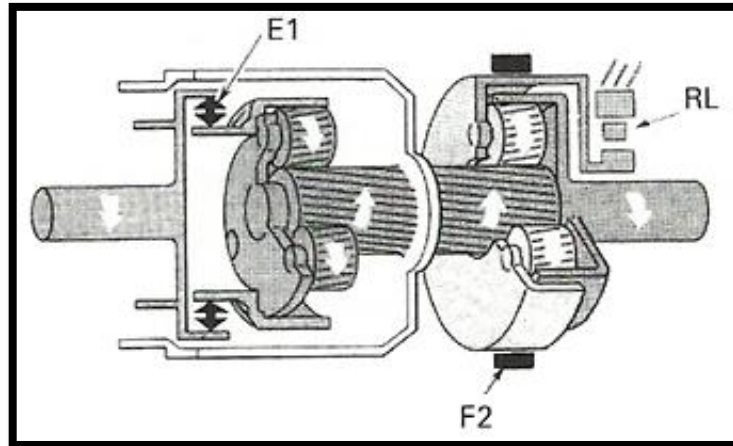
Fuente: BREJCHA, Mathias y TUURI, Ronald. 2000. Cajas de cambio automáticas

2.8 Análisis de flujo de fuerzas

2.8.1 *Neutro y parqueo.* Los embragues frontal y posterior son liberados al igual que los frenos. Si en el tren epicicloidal no se frena ningún elemento, el conjunto gira libremente sin conseguirse ninguna relación de transmisión.

2.8.2 *Primera marcha.* El par del motor entra por el embrague E1 que se encuentra enclavado, arrastrando la primera corona, la cual hace girar al eje planetario en sentido contrario (ver Figura 26). El segundo portasatélites está fijo por la acción del freno F2, con lo que los satélites hacen girar a la segunda corona y el eje de salida, obteniéndose así la máxima reducción de la caja.

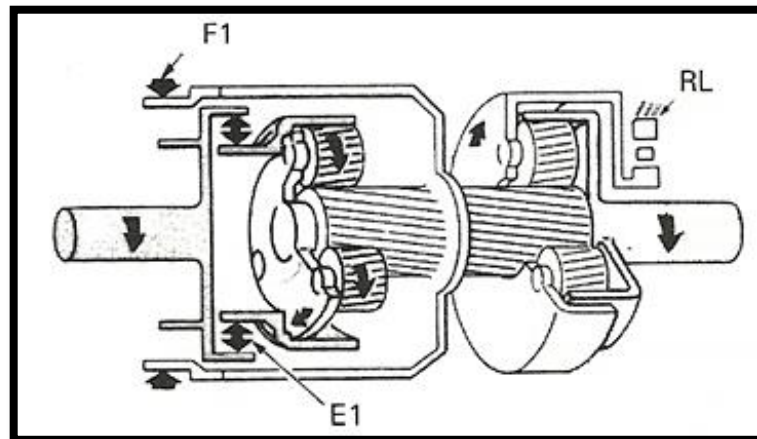
Figura 21. Primera marcha



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.8.3 Segunda marcha. Funciona el embrague de marcha adelante (E1) el cual recibe el giro del motor y arrastra la primera corona. El planetario común esta frenado por el freno (F1). Lo que permite que la corona que está girando haga girar a los satélites y el portasatélites, cuyo eje también es el de salida, por lo que solo se efectúa una reducción (ver Figura 27). El segundo tren gira sin carga alrededor del planetario.

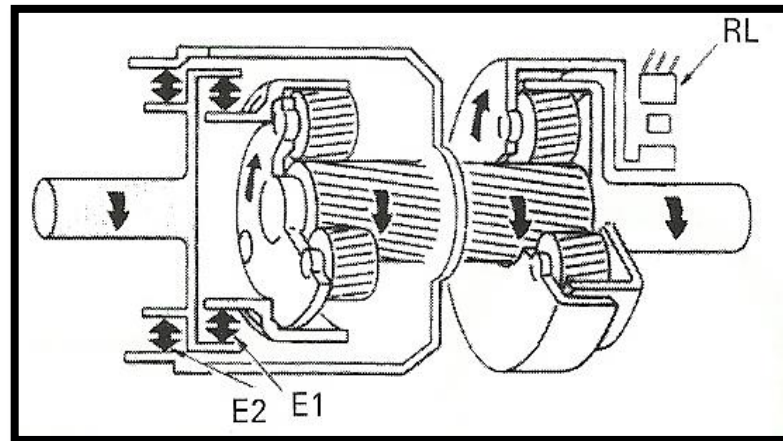
Figura 22. Segunda marcha



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.8.4 Tercera marcha. Funcionan tanto, el embrague E1 el cual recibe el giro del motor y arrastra la primera corona, como el embrague E2 que une el eje de entrada al planetario, sin la restricción de ninguno de los frenos; con lo cual ambos giran a la misma velocidad, obteniéndose así una relación directa (ver Figura 28).

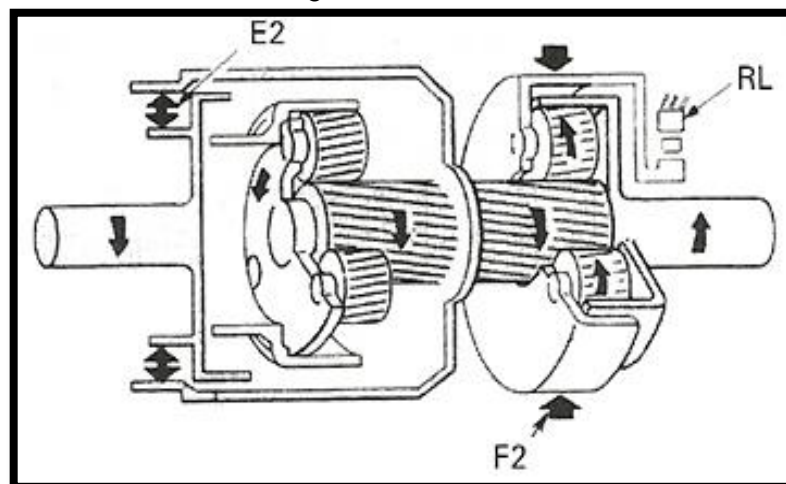
Figura 28. Tercera marcha



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.8.5 Reversa. El embrague E1 no es accionado con lo que la primera corona gira sin carga, mientras el embrague E2 entra en acción mediante el cual el motor arrastra el planetario. El segundo portastélites es frenado por la acción de F2, lo cual permite que el planetario haga girar a los satélites logrando que la segunda corona gire en sentido contrario (ver Figura 29). (ALONSO, 2003)

Figura 23. Reversa



Fuente: ALONSO, José. 2003. Electromecánica de Vehículos, Sistemas de Transmisión y Frenado

2.9 Relaciones de transmisión

Para calcular las velocidades de salida y las relaciones de transmisión se deben tener en cuenta el número de dientes del piñón planetario y el número de dientes del

dentado interior de la corona. Gracias a la fórmula de Willys, se relacionan las velocidades y el número de dientes de los elementos con lo que resulta:

$$N_B = \frac{1}{Z_C + Z_A} (Z_C N_C + Z_A N_A) \quad (1)$$

Donde:

N_A = número de rpm de piñón planetario

N_B = número de rpm del eje portasatélites

N_C = número de rpm de la corona

Z_A = número de dientes del piñón planetario

Z_C = número de dientes del dentado interior de la corona

Para este proyecto utilizaremos una transmisión automática 30RH, la cual se utiliza en los vehículos Chrysler con motores de 2.5L. Esta es una transmisión con dos trenes epicicloidales que tiene tres relaciones de marchas hacia adelante y una hacia atrás. El piñón planetario (Z_A) consta de 28 dientes, los satélites de 28 dientes y la corona (Z_C) de 62 dientes (ver Figura 30). Cabe indicar que el planetario es común y que tanto los satélites como las coronas tienen las mismas dimensiones.

Figura 24. Conjunto de piñones

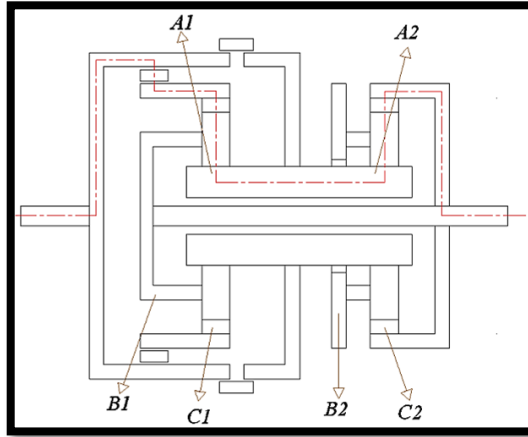


Fuente: <https://d2t1xqejof9utc.cloudfront.net/screenshots/pics/b14ac934134a096a6f9fed3f3d02e3d3/medium.JPG>

2.9.1 Relación de la primera marcha. Para la primera marcha el conjunto de engranajes proveerá una relación de transmisión igual a:

$$R_1 = \frac{N_{C1}}{N_{B1}} + \frac{N_{C1} N_{A2}}{N_{A1} N_{C2}} \quad (2)$$

Figura 25. Esquema de primera marcha



Fuente: Autores

Para $\frac{N_{C1}}{N_{B1}}$ se considera que A_1 se encuentra detenido, es decir, que $N_{A1} = 0$, reemplazando en la fórmula de Willys se tiene que:

$$N_{B1} = \frac{1}{Z_{C1} + Z_{A1}} (Z_{C1}N_{C1} + Z_{A1}N_{A1}) \rightarrow N_{B1} = \frac{Z_{C1}N_{C1}}{Z_{C1} + Z_{A1}}$$

Reemplazando N_{B1} en $\frac{N_{C1}}{N_{B1}}$, se tiene:

$$\frac{N_{C1}}{N_{B1}} = \frac{N_{C1}}{\frac{Z_{C1}N_{C1}}{Z_{C1} + Z_{A1}}} = \frac{Z_{C1} + Z_{A1}}{Z_{C1}} \quad (a)$$

Para $\frac{N_{C1}}{N_{A1}}$ se considera que B_1 se encuentra detenido, es decir, que $N_{B1} = 0$, reemplazando en la fórmula de Willys se tiene que:

$$N_{B1} = \frac{1}{Z_{C1} + Z_{A1}} (Z_{C1}N_{C1} + Z_{A1}N_{A1}) \rightarrow N_{C1} = -\frac{Z_{A1}N_{A1}}{Z_{C1}}$$

Reemplazando N_{C1} en $\frac{N_{C1}}{N_{A1}}$, se tiene:

$$\frac{N_{C1}}{N_{A1}} = \frac{-\frac{Z_{A1}N_{A1}}{Z_{C1}}}{N_{A1}} = -\frac{Z_{A1}}{Z_{C1}} \quad (b)$$

Para $\frac{N_{A2}}{N_{C2}}$ se considera que B_2 se encuentra detenido, es decir, que $N_{B2} = 0$, reemplazando en la fórmula de Willys se tiene que:

$$N_{B2} = \frac{1}{Z_{C2} + Z_{A2}} (Z_{C2}N_{C2} + Z_{A2}N_{A2}) \rightarrow N_{A2} = -\frac{Z_{C1}N_{C1}}{Z_{A1}}$$

Reemplazando N_{C1} en $\frac{N_{C1}}{N_{A1}}$, se tiene:

$$\frac{N_{A2}}{N_{C2}} = \frac{-\frac{Z_{C2}N_{C2}}{Z_{A2}}}{N_{C2}} = -\frac{Z_{C2}}{Z_{A2}} \quad (c)$$

Reemplazando a, b y c en 2 se obtiene la relación de transmisión en función del número de dientes de los piñones:

$$R_1 = \frac{Z_{C1} + Z_{A1}}{Z_{C1}} + \left(\frac{Z_{A1}}{Z_{C1}} * \frac{Z_{C2}}{Z_{A2}} \right) \quad (3)$$

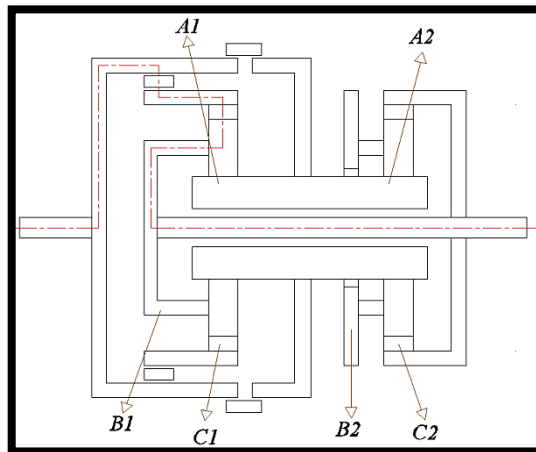
$$R_1 = \frac{62 + 28}{62} + \left(\frac{28}{62} * \frac{62}{28} \right)$$

$$R_1 = 2,45:1$$

2.9.2 Relación de la segunda marcha. Para la segunda marcha el conjunto de engranajes proveerá una relación de transmisión igual a:

$$R_2 = \frac{N_{C1}}{N_{B1}} \quad (4)$$

Figura 26. Esquema de segunda marcha



Fuente: Autores

Para R_2 se considera que A_1 se encuentra detenido, es decir, que $N_{A1} = 0$, reemplazando en la fórmula de Willys se tiene que:

$$N_{B1} = \frac{1}{Z_{C1} + Z_{A1}} (Z_{C1}N_{C1} + Z_{A1}N_{A1})$$

$$N_{B1} = \frac{Z_{C1}N_{C1}}{Z_{C1} + Z_{A1}}$$

Reemplazando N_{B1} en 4 se obtiene lo siguiente:

$$R_2 = \frac{Z_{C1} + Z_{A1}}{Z_{C1}} \quad (5)$$

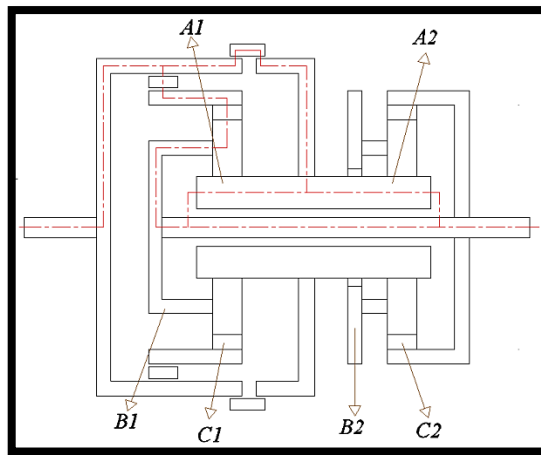
$$R_2 = \frac{62 + 28}{62}$$

$$R_2 = 1,45:1$$

2.9.3 Relación de la tercera marcha. Para la tercera marcha el conjunto de engranajes no realiza desmultiplicación teniendo una relación de transmisión igual a:

$$R_3 = 1:1$$

Figura 27. Esquema de tercera marcha

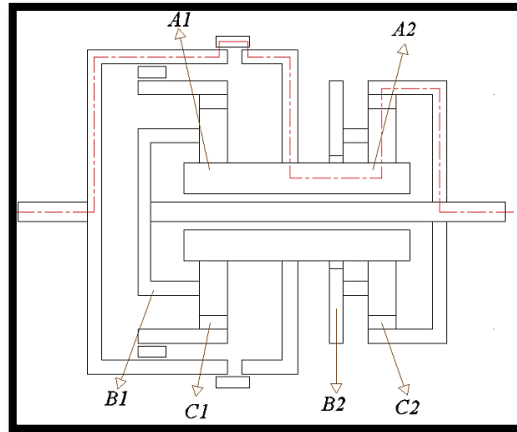


Fuente: Autores

2.9.4 Relación de la reversa. Para la reversa el conjunto de engranajes proveerá una relación de transmisión igual a:

$$R_R = \frac{N_{A2}}{N_{C2}} \quad (6)$$

Figura 28. Esquema de reversa



Fuente: Autores

Para la reversa se considera que B_2 se encuentra detenido, es decir, que $N_{B2} = 0$, reemplazando en la fórmula de Willys se tiene que:

$$N_{B2} = \frac{1}{Z_{C2} + Z_{A2}} (Z_{C2}N_{C2} + Z_{A2}N_{A2}) \rightarrow N_{A2} = -\frac{Z_{C2}N_{C2}}{Z_{A2}}$$

Reemplazando N_{B2} en 6 se obtiene la siguiente fórmula:

$$R_R = -\frac{Z_{C2}}{Z_{A2}} \quad (7)$$

El signo negativo nos indica que el giro de salida es en sentido inverso. (BREJCHA, y otros, 2000)

$$R_R = -\frac{62}{28}$$

$$R_R = 2,21:1$$

CAPÍTULO III

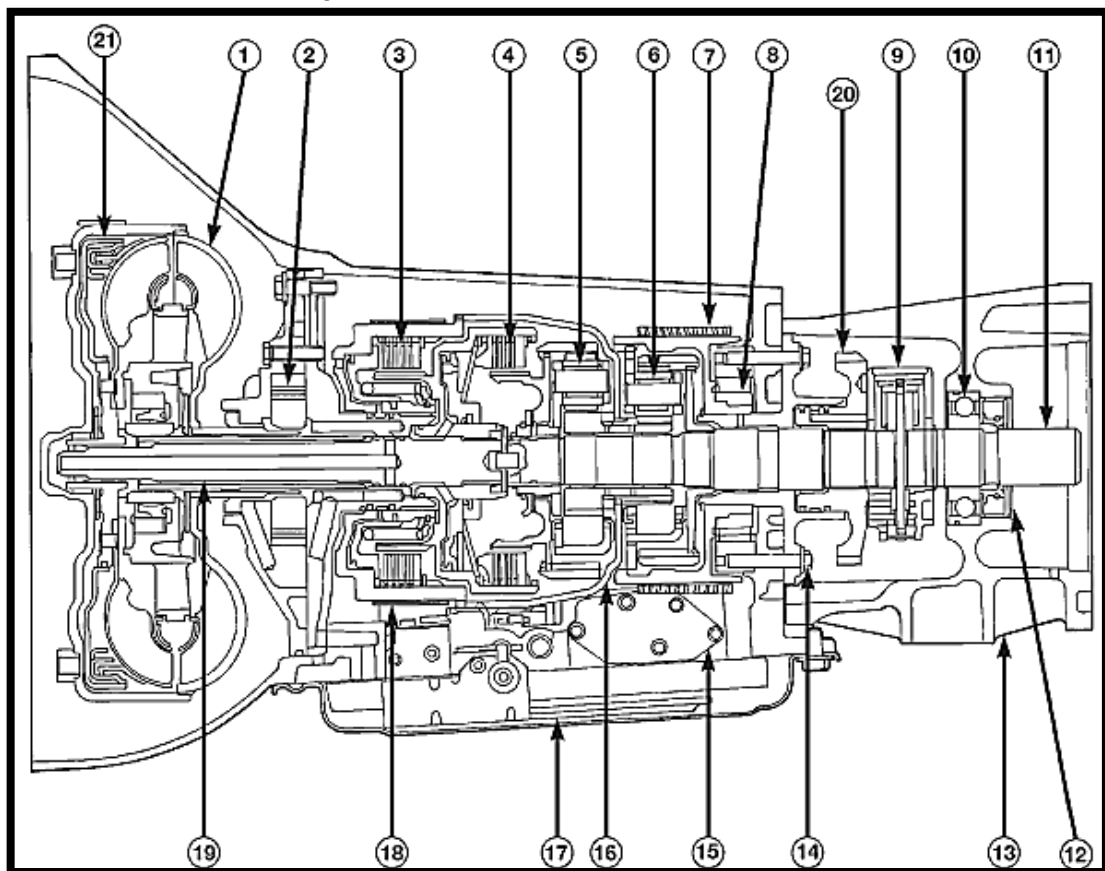
3. DISEÑO MECÁNICO Y ELECTRÓNICO

3.1 Selección y diseño de elementos mecánicos

3.1.1 Selección del sistema epicicloidal. El banco didáctico, como se mencionó en el apartado de cálculo de las relaciones de transmisión, se lo realizará a partir de la transmisión automática 30RH, la misma que trae incorporado una combinación de dos trenes epicicloidales iguales unidos por un piñón planetario común para los dos trenes (montaje Simpson), en el cual se utilizarán y modificarán los elementos situados luego del convertidor de par, el mismo que no será utilizado.

Se deberá; implementar un sistema de transmisión de movimiento, modificar el sistema de embragues y frenos de cinta, diseñar un nuevo eje impulsor, seleccionar los elementos de apoyo y además diseñar la estructura de soporte.

Figura 29. Transmisión automática 30RH




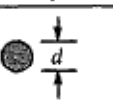
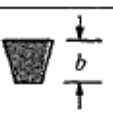
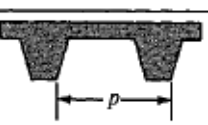
Fuente: Manual de Transmisión y caja de cambios Chrysler

- | | |
|--|-------------------------------------|
| 1 Convertidor | 11 Eje transmisor |
| 2 Bomba de aceite | 12 Junta |
| 3 Embrague delantero | 13 Cubierta de adaptador |
| 4 Embrague trasero | 14 Varilla de bloqueo de parqueo |
| 5 Tren delantero de engranajes planetarios | 15 Cuerpo de válvulas |
| 6 Tren trasero de engranajes planetarios | 16 Casco de impulsión de planetario |
| 7 Cinta de baja y marcha atrás (trasera) | 17 Filtro de aceite |
| 8 Acoplamiento de rueda libre | 18 Cinta de retirada (delantera) |
| 9 Regulador | 19 Eje impulsor |
| 10 Cojinete | 20 Engranaje de estacionamiento |
| 21 Embrague del convertidor | |

3.1.2 Selección del sistema de transmisión de movimiento. Para transmitir el movimiento hacia el eje impulsor utilizaremos un sistema de transmisión mecánica con elementos flexibles. Los elementos de estructura flexible como bandas, cables o cadenas se utilizan en sistemas de transporte y en la transmisión de potencia mecánica a distancias relativamente grandes. En muchos casos su aplicación simplifica el diseño de un mecanismo y reduce notablemente el costo. Además, puesto que estos elementos suelen ser elásticos y de gran longitud, desempeñan un papel importante en la absorción de cargas de choque y en el amortiguamiento y separación de los efectos de las vibraciones. Ésta es una importante ventaja en lo que concierne a la duración de una máquina.

En la Tabla 1 se muestran los cuatro tipos principales de bandas de transmisión, con algunas de sus características.

Tabla 1. Características de algunos tipos comunes de bandas

TIPO DE BANDA	FIGURA	JUNTA	INTERVALO DE TAMAÑOS	DISTANCIA ENTRE CENTROS
Plana		Sí	$t = \begin{cases} 0.03 \text{ a } 0.20 \text{ in} \\ 0.75 \text{ a } 5 \text{ mm} \end{cases}$	No hay límite superior
Redonda		Sí	$d = \frac{1}{8} \text{ a } \frac{3}{4} \text{ in}$	No hay límite superior
→ Trapecial o en V		Ninguna	$b = \begin{cases} 0.31 \text{ a } 0.91 \text{ in} \\ 8 \text{ a } 19 \text{ mm} \end{cases}$	Limitada
Reguladora		Ninguna	$p = 2 \text{ mm y mayor}$	Limitada

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

Para la implementación del sistema de transmisión de movimiento se tiene que tomar en cuenta los siguientes parámetros:

- Se utilizará un motor eléctrico de 1 hp y de 1660 rpm.
- Se requiere que la velocidad del eje impulsor (sin la conexión del variador de frecuencia) no sobrepase las 700 rpm.
- La banda a utilizarse será tipo trapecial o en V.
- La distancia entre centros de las poleas no debe exceder de 12 pulgadas.
- El motor utilizará una polea de 3 pulgadas.

3.1.2.1 Cálculo para la selección de las poleas. Antes de calcular el diámetro de la polea mayor se deben realizar primero las siguientes decisiones:

- Se selecciona en la Tabla 2 un factor de servicio de sobrecarga de 1,1 correspondiente a un impulso uniforme.

Tabla 2. Factores de servicio sugeridos K_s para transmisiones de bandas en V

CARACTERÍSTICA DEL IMPULSO	FUENTE DE POTENCIA MOTRIZ	
	CARACTERÍSTICA DE MOMENTO TORSIONAL NORMAL	MOMENTO TORSIONAL ALTO O NO UNIFORME
→ Uniforme	1.0 a 1.2	1.1 a 1.3
Choque ligero	1.1 a 1.3	1.2 a 1.4
Choque mediano	1.2 a 1.4	1.4 a 1.6
Choque fuerte	1.3 a 1.5	1.5 a 1.8

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

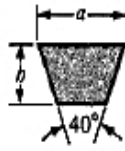
Por consiguiente, se debe diseñar para obtener una potencia de:

$$H = 1hp(1,1) \quad (8)$$

$$H = 1,1 \text{ hp}$$

- En la Tabla 3 se selecciona una banda de sección A, ya que está dentro del rango de potencias.

Tabla 3. Secciones de bandas trapeziales (o en V) estándares



SECCIÓN	ANCHO a , in	ESPESOR b , in	MINIMO DIÁMETRO DE POLEA, in	POTENCIAS PARA UNA O MÁS BANDAS, hp
A	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{16}$	3.0	1-10 ←
B	$\frac{3}{16}$	$\frac{7}{16}$	5.4	1-25
C	$\frac{7}{8}$	$\frac{17}{32}$	9.0	15-100
D	$1\frac{1}{4}$	$\frac{3}{4}$	13.0	50-250
E	$1\frac{1}{2}$	1	21.6	100 o mayor

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

Después de haber tomado las decisiones se procede a calcular el diámetro de la polea mayor con la siguiente fórmula:

$$d n_1 = D n_2 \quad (9)$$

Donde:

D = diámetro de la polea mayor

d = diámetro de la polea menor

n_1 = velocidad angular de entrada

n_2 = velocidad angular deseada

$$D = \frac{d n_1}{n_2} = \frac{3plg(1660rpm)}{700rpm} = 6,91 plg$$

La polea comercial más cercana al valor obtenido y la que seleccionaremos es la siguiente: **$D = 7 plg$**

3.1.2.2 Cálculo para la selección de la banda. Para calcular la longitud de paso o longitud efectiva de la banda se utiliza la siguiente ecuación:

$$L_p = 2C + 1,57(D + d) + \frac{(D - d)^2}{4C} \quad (10)$$

Donde:

C = distancia entre centros

D = diámetro de paso de la polea mayor

d = diámetro de paso de la polea menor

L_p = longitud de paso de la banda

$$L_p = 2(12 \text{ plg}) + 1,57(7 \text{ plg} + 3 \text{ plg}) + \frac{(7 \text{ plg} - 3 \text{ plg})^2}{4(12 \text{ plg})}$$

$$L_p = 40,37 \text{ plg}$$

El tamaño estándar o normal más próximo, el A 42, se toma de la Tabla 4. Esta banda tiene una longitud de paso de 43,3 pulgadas.

Tabla 4. Circunferencias internas de bandas en V estándares

SECCIÓN	CIRCUNFERENCIA, in
A	26, 31, 33, 35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 66, 68, 71, 75, 78, 80, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128
B	35, 38, 42, 46, 48, 51, 53, 55, 57, 60, 62, 64, 65, 66, 68, 71, 75, 78, 79, 81, 83, 85, 90, 93, 97, 100, 103, 105, 112, 120, 128, 131, 136, 144, 158, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300
C	51, 60, 68, 75, 81, 85, 90, 96, 105, 112, 120, 128, 136, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420
D	120, 128, 144, 158, 162, 173, 180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660
E	180, 195, 210, 240, 270, 300, 330, 360, 390, 420, 480, 540, 600, 660

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

La velocidad de desplazamiento de la banda es:

$$V = \frac{\pi d n_1}{12} \quad (11)$$

$$V = \frac{\pi(3 \text{ plg})(1660 \text{ rpm})}{12}$$

$$V = 1303,76 \text{ pie}/\text{min}$$

Tabla 5. Potencias nominales en hp de bandas trapeciales (o en V) estándares

SECCIÓN DE BANDA	DIÁMETRO DE PASO DE POLEA, in	VELOCIDAD DE LA BANDA, ft/min				
		1000	2000	3000	4000	5000
A	2.6	0.47	0.62	0.53	0.15	
	3.0	0.66	1.01	1.12	0.93	0.38
	3.4	0.81	1.31	1.57	1.53	1.12
	3.8	0.93	1.55	1.92	2.00	1.71
	4.2	1.03	1.74	2.20	2.38	2.19
	4.6	1.11	1.89	2.44	2.69	2.58
	5.0 o más	1.17	2.03	2.64	2.96	2.89
B	4.2	1.07	1.58	1.68	1.26	0.22
	4.6	1.27	1.99	2.29	2.08	1.24
	5.0	1.44	2.33	2.80	2.76	2.10
	5.4	1.59	2.62	3.24	3.34	2.82
	5.8	1.72	2.87	3.61	3.85	3.45
	6.2	1.82	3.09	3.94	4.28	4.00
	6.6	1.92	3.29	4.23	4.67	4.48
	7.0 o más	2.01	3.46	4.49	5.01	4.90
C	6.0	1.84	2.66	2.72	1.87	
	7.0	2.48	3.94	4.64	4.44	3.12
	8.0	2.96	4.90	6.09	6.36	5.52
	9.0	3.34	5.65	7.21	7.86	7.39
	10.0	3.64	6.25	8.11	9.06	8.89
	11.0	3.88	6.74	8.84	10.0	10.1
	12.0 o más	4.09	7.15	9.46	10.9	11.1
D	10.0	4.14	6.13	6.55	5.09	1.35
	11.0	5.00	7.83	9.11	8.50	5.62
	12.0	5.71	9.26	11.2	11.4	9.18
	13.0	6.31	10.5	13.0	13.8	12.2
	14.0	6.82	11.5	14.6	15.8	14.8
	15.0	7.27	12.4	15.9	17.6	17.0
	16.0	7.66	13.2	17.1	19.2	19.0
	17.0 o más	8.01	13.9	18.1	20.6	20.7
E	16.0	8.68	14.0	17.5	18.1	15.3
	18.0	9.92	16.7	21.2	23.0	21.5
	20.0	10.9	18.7	24.2	26.9	26.4
	22.0	11.7	20.3	26.6	30.2	30.5
	24.0	12.4	21.6	28.6	32.9	33.8
	26.0	13.0	22.8	30.3	35.1	36.7
	28.0 o más	13.4	23.7	31.8	37.1	39.1

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

Utilizando la Tabla 5 e interpolando, la potencia nominal por banda es de 1,42 hp. Esto debe corregirse por el ángulo de contacto y la longitud de banda. El ángulo de contacto para la polea menor resulta de la siguiente expresión:

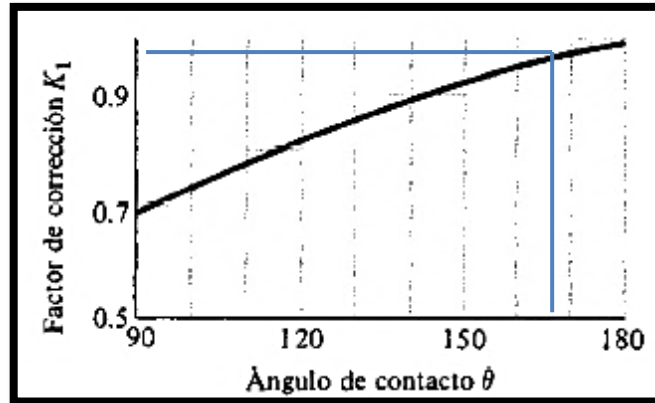
$$\theta_d = \pi - \sin^{-1} \frac{D - d}{2C} \quad (12)$$

$$\theta_d = \pi - \sin^{-1} \frac{7 \text{ plg} - 3 \text{ plg}}{2(12 \text{ plg})} = 2,974 \text{ rad}$$

$$\theta_d = 170,45^\circ$$

El factor de corrección de la Figura 36 es de 0,97.

Figura 30. Factor de corrección K1 para el ángulo de contacto



Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

El factor de corrección por longitud de banda es igual a 0,90 de la Tabla 6.

Tabla 6. Factor de corrección de longitud K2

FACTOR DE LONGITUD	LONGITUD DE BANDA NOMINAL, in				
	BANDAS A	BANDAS B	BANDAS C	BANDAS D	BANDAS E
0.85	Hasta 35	Hasta 46	Hasta 75	Hasta 128	
→ 0.90	38–46	48–60	81–96	144–162	Hasta 195
0.95	48–55	62–75	105–120	173–210	210–240
1.00	60–75	78–97	128–158	240	270–300
1.05	78–90	105–120	162–195	270–330	330–390
1.10	96–112	128–144	210–240	360–420	420–480
1.15	120 o más	158–180	270–300	480	540–600
1.20		195 o más	330 o más	540 o más	660

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

En consecuencia, la potencia corregida por banda es:

$$H' = 0,97(0,90)(1,42 \text{ hp}) \quad (13)$$

$$H' = 1,239 \text{ hp}$$

Y así el número de bandas requerido es:

$$N = \frac{H}{H'} \quad (14)$$

$$N = \frac{1,1 \text{ hp}}{1,239 \text{ hp}}$$

$$N = 0,887$$

Por consiguiente, una banda de sección A será lo que se seleccione para nuestro sistema. (SHIGLEY, y otros, 1995)

3.1.3 *Modificación del sistema de embragues y análisis de los frenos de cinta.* Para fines didácticos, se debe modificar el sistema de embragues que viene incorporado en la caja de cambios; ya que estos son de accionamiento hidráulico y no se podría apreciar su funcionamiento. Nuestra intención es de que el sistema sea de accionamiento electromecánico y que se pueda observar el principio de su funcionamiento.

En la Figura 37 se puede ver el sistema que va a ser rediseñado en el presente proyecto.

Figura 31. Parte interna de la caja de cambios



Fuente: Autores

3.1.3.1 Diseño de la rueda de embrague. Se requiere diseñar una rueda en donde van a ir montados un par de actuadores eléctricos lineales; los cuales se en cargaran de impulsar unos pequeños ejes que se enclavaran ya sea en la primera corona o en el casco de impulsión del planetario, dependiendo de la marcha seleccionada.

La Figura 38 muestra en detalle la estructura del sistema de embragues, el cual va a ser sustituido.

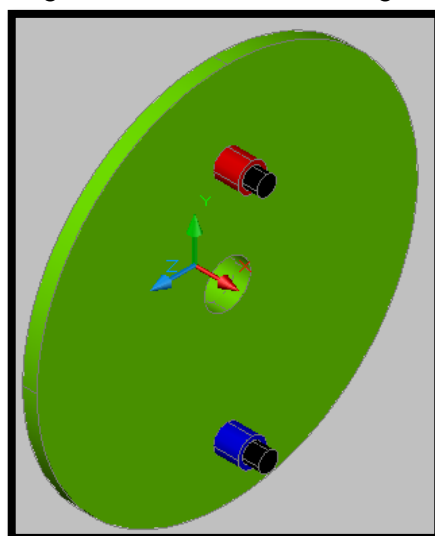
Figura 32. Sistema de embragues



Fuente: Autores

La Figura 39 muestra el diseño de la rueda de embragues realizado en el programa AutoCAD, que va a ser implementado en el banco didáctico. Se puede observar de color negro, los pequeños ejes que serán impulsados por los actuadores y enclavados dependiendo de la relación de transmisión deseada. La rueda se realizará a partir de una porción de plancha de acero ASTM A-569 de 11mm de espesor.

Figura 33. Rueda de embragues

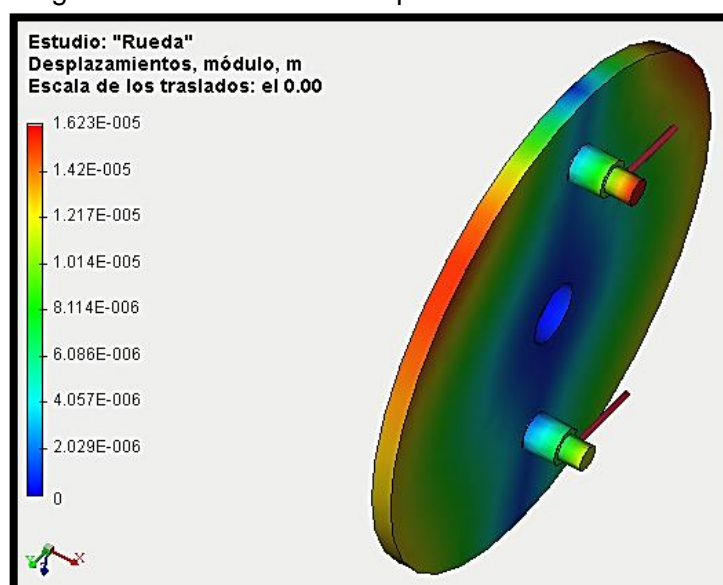


Fuente: Autores

Análisis de la rueda de embrague. Para realizar el análisis de este y otros elementos diseñados, utilizaremos la herramienta AutoFEM Análisis que posee AutoCAD. AutoFEM Análisis es un software de análisis de elementos finitos, basado en el método de elementos finitos. El Método de Elementos Finitos (MEF) es la vía que conduce a predecir el comportamiento de los diseños en condiciones reales.

En la Figura 40 se detallan los resultados de desplazamientos obtenidos del estudio realizado en AutoFEM Análisis, para el caso de la rueda de embragues. Tenemos que el desplazamiento máximo es igual a 0,01623 mm.

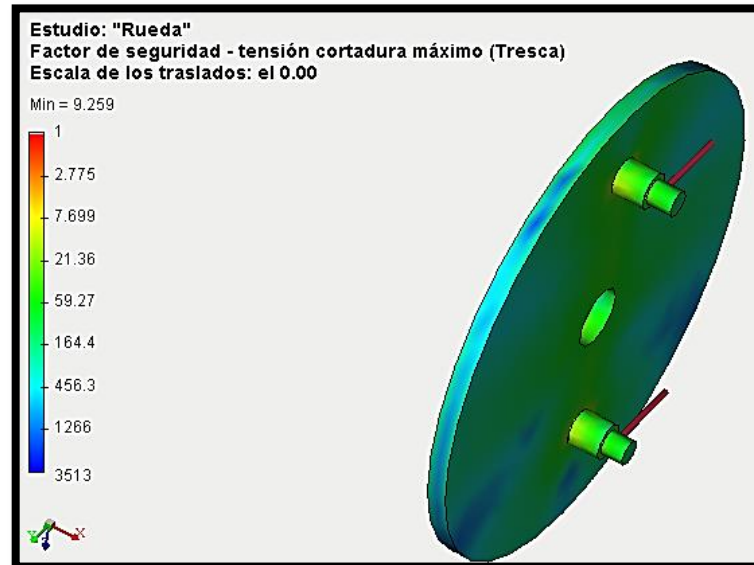
Figura 34. Resultado de desplazamientos en la rueda



Fuente: Autores

La Figura 41 muestra el resultado del factor de seguridad, calculado de acuerdo al criterio de Tresca; el cual nos da un valor mínimo de 9,259.

Figura 35. Factor de seguridad-tensión cortadura máximo en la rueda (Tresca)



Fuente: Autores

Esto quiere decir que nuestro diseño soporta las cargas sin ningún problema y está apto para ser construido.

3.1.3.2 Modificación de la corona de entrada. De acuerdo al diseño de la rueda de embragues, se debe realizar una modificación en la corona de entrada para que pueda recibir el movimiento mediante los ejes accionados por los actuadores lineales; además que se debe realizar un soporte deslizante para la misma, ya que la corona debe girar de forma independiente al eje impulsor.

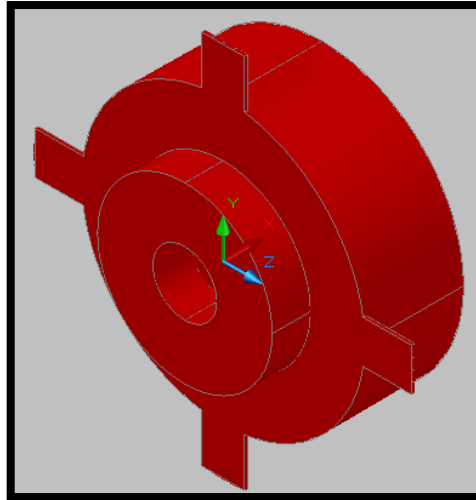
Figura 36. Corona de entrada



Fuente: Autores

La Figura 43 muestra la modificación que se pretende realizar a la corona de entrada. Para esto se utilizará de igual forma porciones de planchas de acero ASTM A-569 pero de 3mm de espesor.

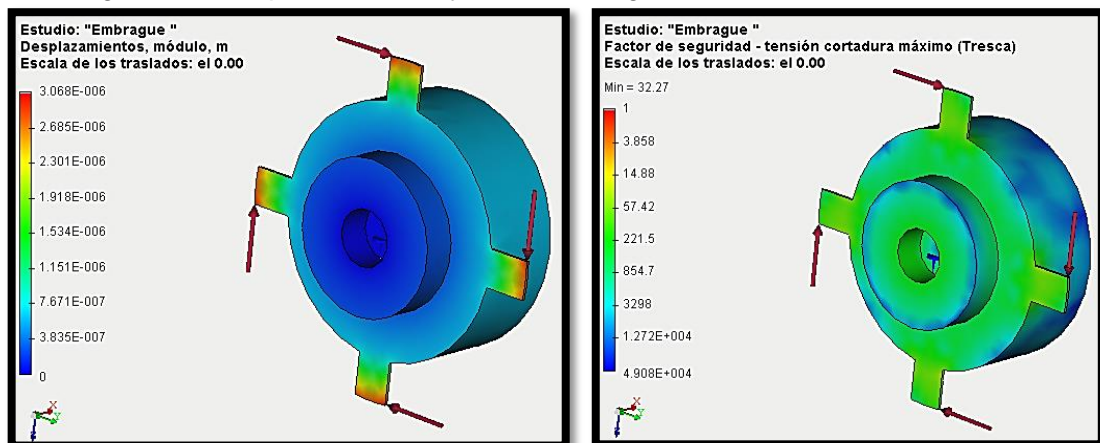
Figura 37. Corona de entrada modificada



Fuente: Autores

En la Figura 44 se puede apreciar los resultados del desplazamiento y factor de seguridad generados en los lugares que van a ser modificados; dándonos como desplazamiento máximo 0,003068 mm y factor de seguridad mínimo de 32,27.

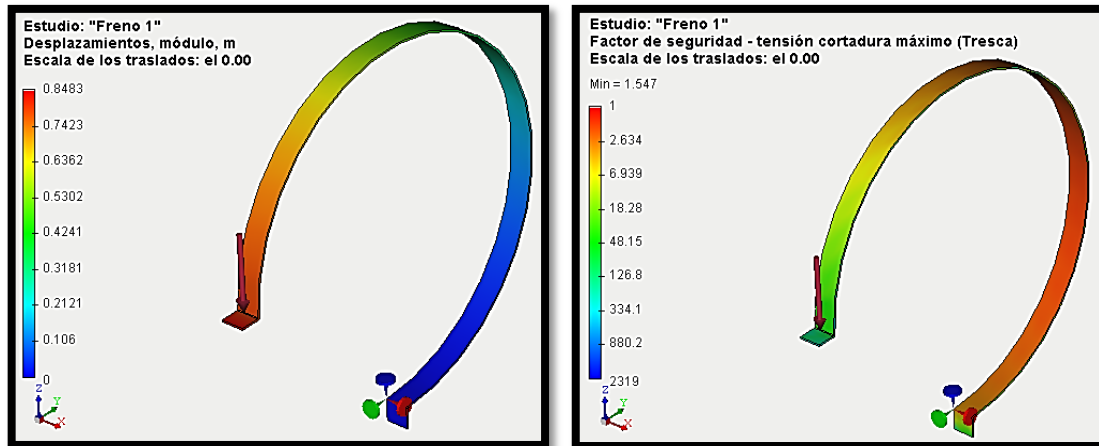
Figura 38. Desplazamientos y factor de seguridad de la corona modificada



Fuente: Autores

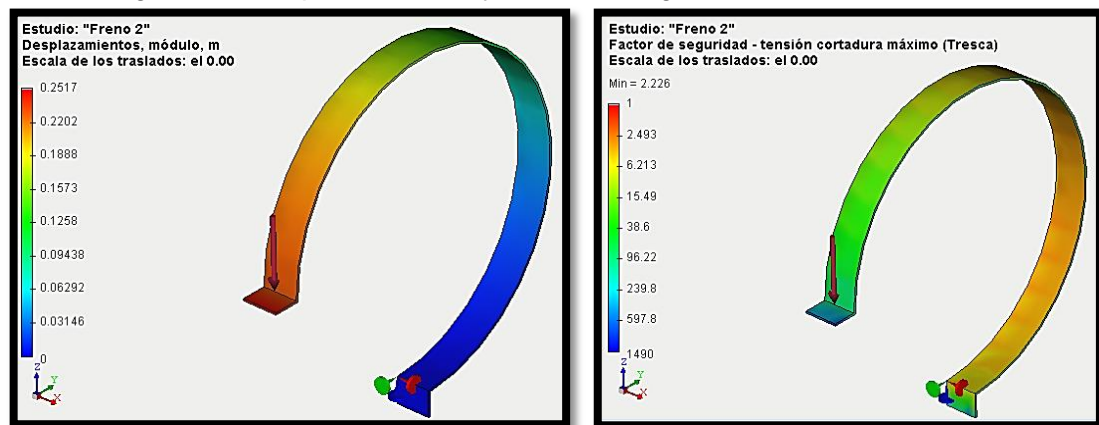
3.1.3.3 Análisis de los frenos de cinta. Para el caso de los frenos de cinta se pueden observar que los desplazamientos son muy altos, esto se debe a que son láminas delgadas (ASTM A-569 de 1,5 mm de espesor) y además que en la simulación no se le aplicó una restricción de movimiento. Ya que en la práctica solo se tendrá un ligero desplazamiento hasta que tope los tambores que van a ser frenados. Mientras que los factores de seguridad están dentro del rango permisible para diseños de baja carga.

Figura 39. Desplazamientos y factor de seguridad del freno de cinta 1



Fuente: Autores

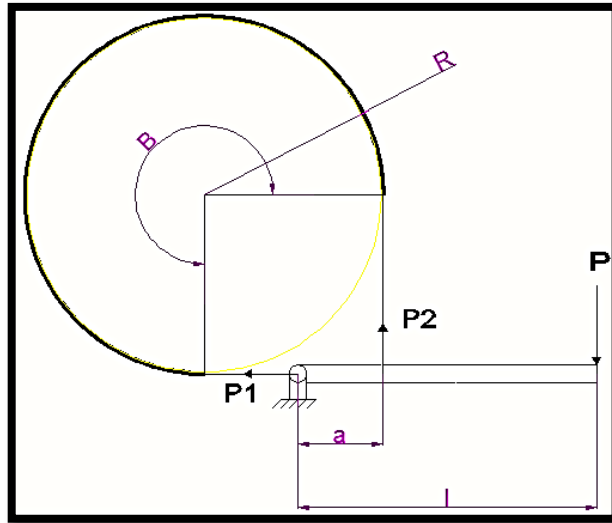
Figura 40. Desplazamientos y factor de seguridad del freno de cinta 2



Fuente: Autores

Cálculo de la fuerza y par de frenado. La Figura 47 muestra la configuración típica de un freno de cinta. La banda flexible, que casi siempre se fabrica de acero, se opone a un material de fricción susceptible de conformarse a la curvatura del tambor. La aplicación de una fuerza sobre la palanca ejerce tensión en la banda y oprime al material de fricción contra el tambor. (SHIGLEY, y otros, 1995)

Figura 41. Diseño de freno de cinta



Fuente: Autores

- Para el caso del freno de cinta 1, tenemos los siguientes datos:

$$P=15 \text{ N}$$

$$a= 50\text{mm}$$

$$R=101,6\text{mm}$$

$$B= 270^{\circ} (3\pi/2)$$

$$l= 100\text{mm}$$

Para calcular la fuerza de frenado primero establecemos la relación que existe entre las tensiones.

$$\frac{P_1}{P_2} = e^{uB} \quad (15)$$

Donde:

P_1 = tensión en el pasador

P_2 = tensión de trabajo

u = coeficiente de fricción

B = ángulo de contacto

De la Tabla 7 se toma el coeficiente de fricción medio igual a 0,40.

Tabla 7. Algunas propiedades de los revestimientos para frenos

	TRAMADOS	MOLDEADOS	DE BLOQUE RÍGIDO
Resistencia a la compresión, kpsi	10–15	10–18	10–15
Resistencia a la compresión, MPa	70–100	70–125	70–100
Resistencia a la tensión, kpsi	2.5–3	4–5	3–4
Resistencia a la tensión, MPa	17–21	27–35	21–27
Temperatura máxima, °F	400–500	500	750
Temperatura máxima, °C	200–260	260	400
Velocidad máxima, ft/min	7500	5000	7500
Velocidad máxima, m/s	38	25	38
Presión máxima, psi	50–100	100	150
Presión máxima, kPa	340–690	690	1000
→ Coeficiente de fricción, medio	0.45	0.47	0.40–45

Fuente: SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. Diseño en Ingeniería Mecánica

$$P_1 = e^{0,40 \cdot \frac{3\pi}{2}} \cdot P_2 = 6,58 P_2$$

Realizando el análisis de momentos en la palanca de accionamiento se tiene:

$$P_2 a = P l \rightarrow P_2 = \frac{P l}{a} = \frac{15 \text{ N } (0,1m)}{0,05m}$$

$$P_2 = 30 \text{ N}$$

Reemplazando P2 en P1 se tiene que $P_1 = 197,4 \text{ N}$; entonces la fuerza (F) y par de frenado (M) es:

$$F = P_1 - P_2 \quad (16)$$

$$F = 194,4 \text{ N} - 30 \text{ N}$$

$$F = 164,4 \text{ N}$$

$$M = F R \quad (17)$$

$$M = 164,4 \text{ N} \cdot 0,1016 \text{ m}$$

$$M = 16,703 \text{ N.m}$$

- Para el caso del freno de cinta 2, tenemos los siguientes datos:

$$P=15 \text{ N}$$

$$a= 50\text{mm}$$

$$R=76,2\text{mm}$$

$$B= 270^0 (3\pi/2)$$

$$l= 177\text{mm}$$

La relación que existe entre las tensiones es igual a.

$$P_1 = e^{0,40 \cdot \frac{3\pi}{2}} * P_2 = 6,58 P_2$$

Realizando el análisis de momentos en la palanca de accionamiento se tiene:

$$P_2 a = P l \rightarrow P_2 = \frac{P l}{a} = \frac{15 \text{ N } (0,177\text{m})}{0,05\text{m}}$$

$$P_2 = 53,1\text{N}$$

Reemplazando P2 en P1 se tiene que $P_1 = 349,39 \text{ N}$; entonces la fuerza (F) y par de frenado (M) es:

$$F = P_1 - P_2 = 349,39 \text{ N} - 53,1 \text{ N}$$

$$F = 296,29 \text{ N}$$

$$M = F R = 296,29 \text{ N} * 0,0762 \text{ m}$$

$$M = 22,58 \text{ N.m}$$

3.1.4 Diseño del eje impulsor. Con el nuevo diseño del sistema de embragues, se tiene que diseñar un nuevo eje impulsor que se adapte a los requerimientos solicitados.

Uno de los requerimientos es que el diámetro del eje tiene que ser lo suficiente como para que en uno de sus extremos aloje un rodamiento tipo canastilla de agujas, para que sirva de apoyo y unión deslizante con el eje transmisor. Además debe soportar los elementos de rotación y transmitir el momento torsional que el motor eléctrico proporcione (ver Figura 48).

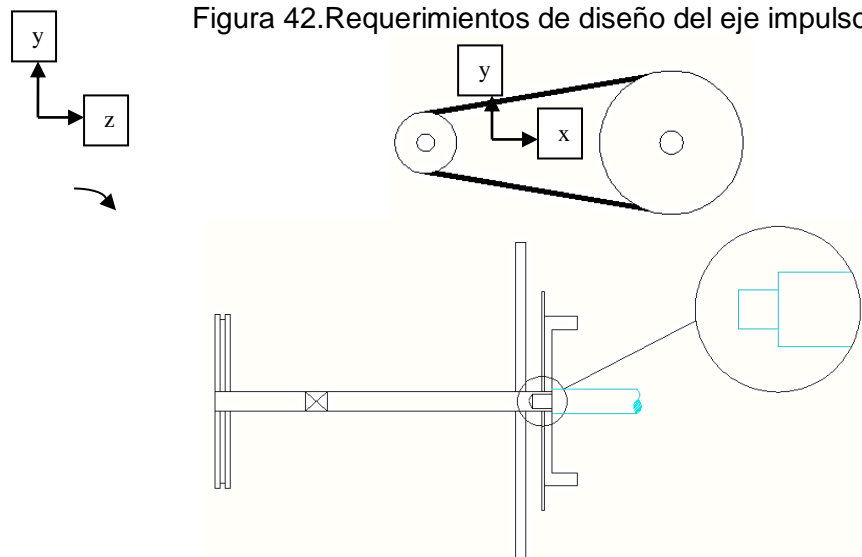


Figura 42.Requerimientos de diseño del eje impulsor

Fuente: Autores

El número de revoluciones que el motor transmita al eje va a ser modificado con un variador de frecuencia, el mismo que se programará para que el motor gire a una velocidad angular máxima de 700 rpm, lográndose así, por medio del sistema de poleas, que el eje gire con una velocidad máxima de 300 rpm; esto con el fin de que se pueda apreciar el funcionamiento del cambio de relación de transmisión en cada marcha.

3.1.4.1 Cálculo para la selección del eje. (HALL, y otros, 1990) El momento de torsión que el motor proporciona al eje impulsor se calcula con la siguiente ecuación:

$$M_t = \frac{63000 H}{n} \quad (18)$$

Donde:

M_t = momento de torsión

H = potencia del motor

n = velocidad angular en el eje

$$M_t = \frac{63000(1 \text{ hp})}{300 \text{ rpm}} = 210 \text{ lb.plg}$$

$$M_t = 23,726 \text{ N.m}$$

Para calcular el valor de la tensión ejercida por la banda utilizamos la siguiente expresión:

$$M_t = (T_1 - T_2)R \quad (19)$$

Donde:

M_t = momento de torsión

T_1 = tensión en el ramal tirante de la banda

T_2 = tensión en el ramal flojo de la banda

R = radio de la polea

$$T_1 - T_2 = \frac{M_t}{R} = \frac{210 \text{ lb} \cdot \text{plg}}{3,5 \text{ plg}} = 60 \text{ lb}$$

$$T_1 - T_2 = 266,88 \text{ N}$$

Tomando en cuenta que para la banda seleccionada la relación de tensiones es de 5 tenemos lo siguiente:

$$T_1 = 5 T_2$$

$$5 T_2 - T_2 = 266,88 \text{ N}$$

$$T_2 = 66,72 \text{ N}$$

$$T_1 = 333,6 \text{ N}$$

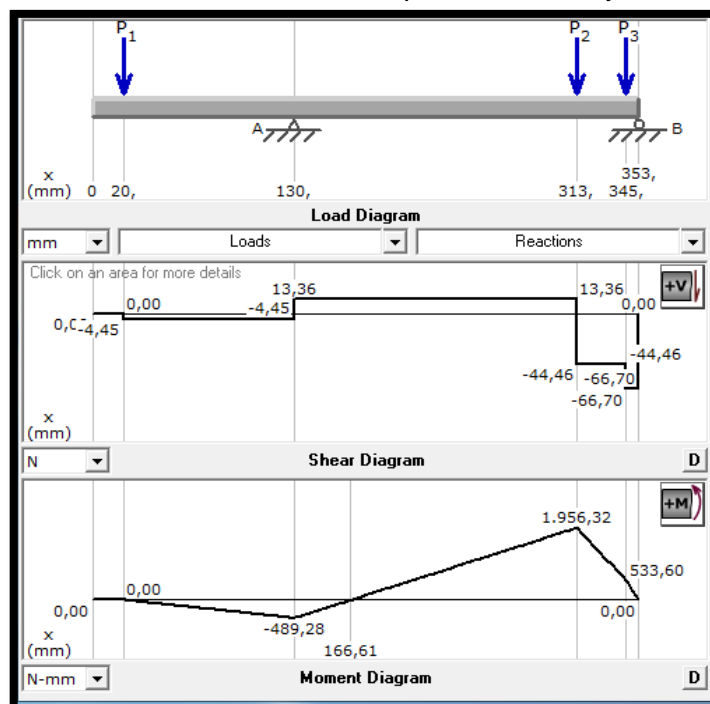
$$T = \sqrt{(T_1)^2 + (T_2)^2} \quad (20)$$

$$T = \sqrt{(333,6 \text{ N})^2 + (66,72 \text{ N})^2} = 340,21 \text{ N}$$

Los cálculos de las reacciones, esfuerzo cortante y momento flector fueron realizados en el programa MDSolids 3.2. A continuación se muestran los resultados:

Plano xy: R_{Ay} = 17,51 N; R_{By} = 67 N

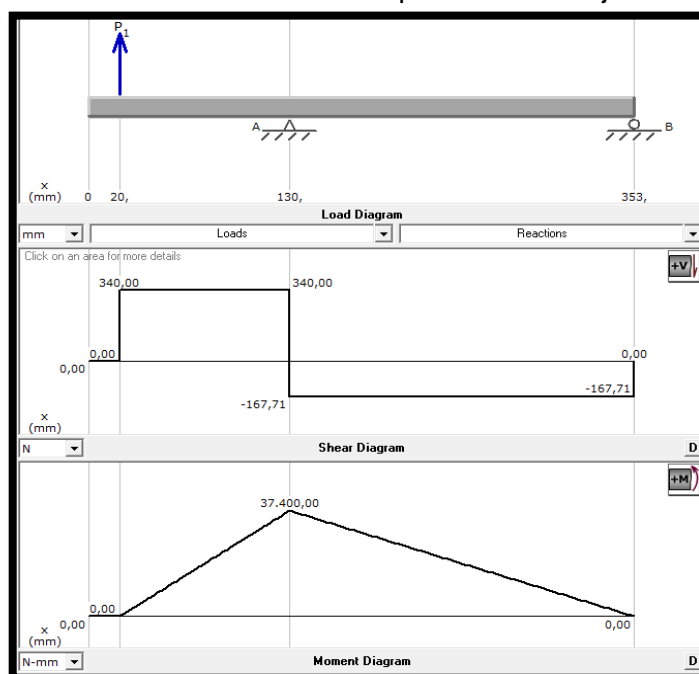
Figura 43. Resultados de esfuerzos aplicados en el eje en el plano xy



Fuente: Autores

Plano xz: $RA_z = -254,01$ N; $RB_z = 83,91$ N

Figura 44. Resultados de esfuerzos aplicados en el eje en el plano xz



Fuente: Autores

El momento flector máximo se puede obtener calculando el modulo en el punto A, ya que en este punto se encuentran los valores más altos. Entonces tenemos que:

$$M_f = \sqrt{MA_{xy}^2 + MA_{xz}^2} \quad (21)$$

$$M_f = \sqrt{(-0,4892 \text{ N.m})^2 + (37,4 \text{ N.m})^2} = 331,056 \text{ lb.plg}$$

$$M_f = 37,403 \text{ N.m}$$

Se prosigue el cálculo utilizando la siguiente expresión:

$$d = \left(\frac{16}{\pi S_s} \sqrt{(K_f M_f)^2 + (K_t M_t)^2} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (22)$$

Donde:

d = diámetro

M_f = momento flexión

M_t = momento de torsión

S_s = shear stress (6000 lb/plg² para ejes con chavetera)

K_f = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento flector

K_t = factor combinado de choque y fatiga, aplicado al momento de torsión

De la Tabla 8 seleccionamos los factores para ejes en rotación con carga aplicada gradualmente.

Tabla 8. Factores combinados de choque y fatiga

Para ejes estacionarios:	K_f	K_t
Carga aplicada gradualmente	1	1
Carga aplicada repentinamente	1,5 a 2	1,5 a 2
Para ejes en rotación:		
Carga aplicada gradualmente	1,5	1
Carga repentina (choque menor)	1,5 a 2	1 a 1,5
Carga repentina (choque fuerte)	2 a 3	1,5 a 3

Fuente: HALL, A; HULOWENCO, A y LAUGLIN, H.1990. Diseño de máquinas

Entonces tenemos que el diámetro teórico del eje impulsor es igual a:

$$d = \left(\frac{16}{\pi 6000 \text{ lb/plg}^2} \sqrt{(1,5 * 210 \text{ lb.plg})^2 + (1 * 331,056 \text{ lb.plg})^2} \right)^{\frac{1}{3}} = 0,729 \text{ plg}$$

$$d = 18,52 \text{ mm}$$

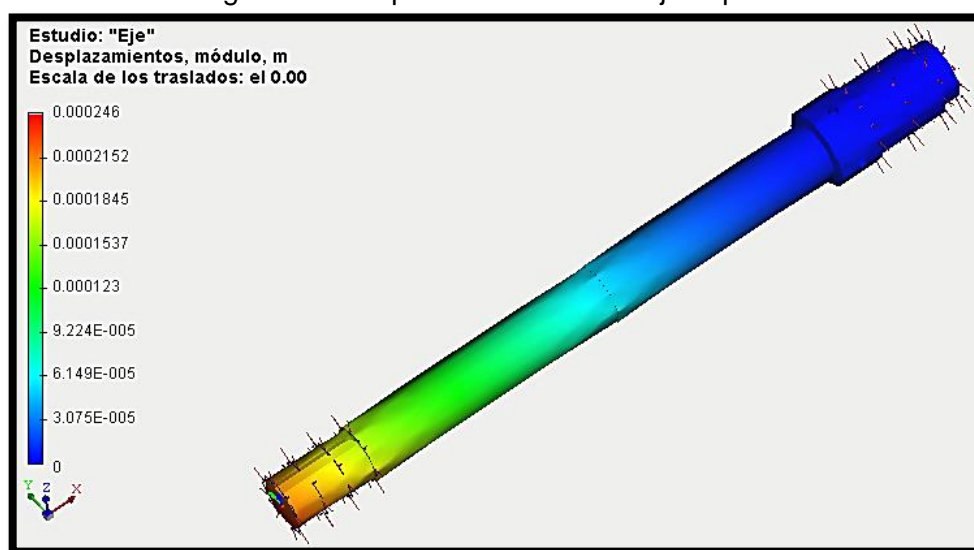
El diámetro del eje necesario para soportar las cargas requeridas resulta ser de 18,52 mm; pero será necesario seleccionar un eje con mayor diámetro ya que se manifestó que se debía contar con un rodamiento tipo canastilla en uno de sus extremos, para lo cual se debe taladrar un agujero en el extremo del eje con diámetro aproximado de 22mm ya que el eje transmisor tiene un saliente de 15,5mm de diámetro.

El eje seleccionado para nuestro diseño, es el eje de transmisión SAE 1040 de 38,1mm (1 ½ plg) de diámetro. El SAE 1040 es un acero con mediano contenido de carbono, susceptible de tratamiento térmico de temple en agua o aceite.

3.1.4.2 Análisis del eje. Luego de haber seleccionado nuestro eje procedemos a realizar el estudio estático, aplicando las fuerzas y el momento de torsión, utilizando el método del elemento finito.

La Figura 51 muestra el resultado de los desplazamientos en el eje impulsor, cuyo valor máximo es 0,246 mm; el cual se encuentra en la ranura en donde se aloja la chaveta.

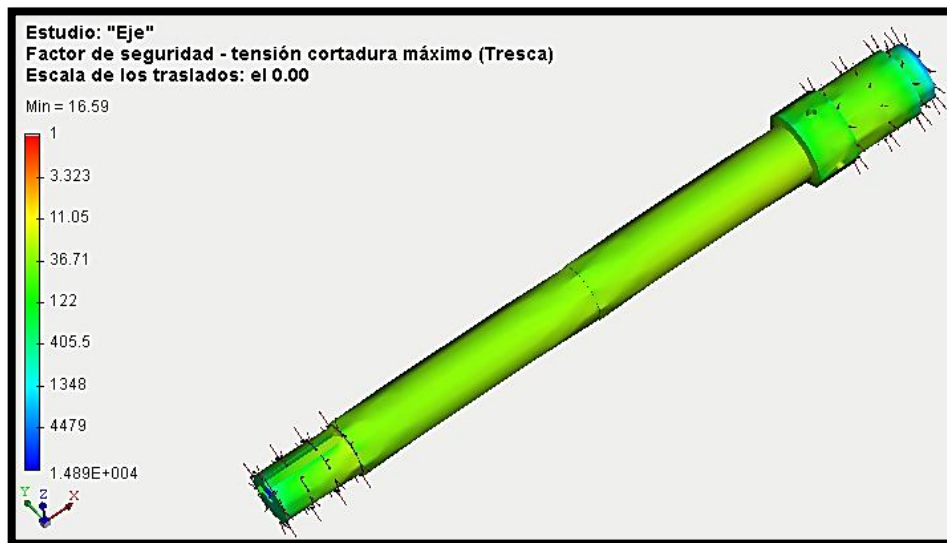
Figura 45. Desplazamientos en el eje impulsor



Fuente: Autores

En la Figura 52 se muestra el factor de seguridad del diseño, cuyo valor mínimo es de 16,59.

Figura 46. Factor de seguridad del eje impulsor



Fuente: Autores

3.1.5 Selección de soportes deslizantes. Para la selección de los rodamientos se tienen que realizar los cálculos por separado, tanto para el eje impulsor como para el eje transmisor.

3.1.5.1 Selección de la chumacera para el eje impulsor. Para seleccionar la chumacera del eje impulsor se debe calcular la carga dinámica que tiene soportar. Esta carga es la reacción resultante en el punto donde va a estar el rodamiento.

$$C_r = \sqrt{RA_{xy}^2 + RA_{xz}^2} \quad (23)$$

$$C_r = \sqrt{(17,51 \text{ N})^2 + (-507,71 \text{ N})^2}$$

$$C_r = 508,012 \text{ N}$$

Del catálogo del fabricante del fabricante KDF se selecciona la chumacera P206 UPC 206-18 con diámetro interno de 28,5mm (1 1/8 plg). Esta chumacera soporta una carga dinámica de hasta 18600 N, con la cual se puede calcular la vida nominal básica en horas, con la siguiente expresión:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 n} \left(\frac{C}{P} \right)^p \quad (24)$$

Donde:

L_{10h} = vida nominal básica en horas

n = velocidad rotacional

C = capacidad básica de carga dinámica

P = carga dinámica equivalente (en rodamientos con carga radial = C_r)

p = 3 para rodamientos de bolas

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 300 \text{ rpm}} \left(\frac{18600 \text{ N}}{508,012 \text{ N}} \right)^3$$

$$L_{10h} = 2726744,302 \text{ horas}$$

El resultado de la vida nominal básica para esta chumacera nos da una cantidad muy elevada, debido a que el eje no va a tener una velocidad angular muy alta. Esto quiere decir que se le damos el correcto mantenimiento, no será necesario sustituirla. (MOTT, 1992)

3.1.5.2 Selección del rodamiento tipo canastilla de agujas. De la misma forma que se hizo el cálculo para la chumacera, se debe realizar para este tipo de rodamiento. Se tiene que encontrar la resultante de la reacción en el extremo del eje.

$$C_r = \sqrt{R_{B_{xy}}^2 + R_{B_{xz}}^2} = \sqrt{(67 \text{ N})^2 + (167,61 \text{ N})^2}$$

$$C_r = 180,505 \text{ N}$$

Del catálogo del fabricante del fabricante NTN se selecciona el rodamiento de canastilla tipo aguja KMJ16x22x16 con diámetro interno de 16mm. Este rodamiento soporta una carga dinámica de hasta 14200 N. Para calcular la vida útil nominal básica en horas, se tiene que utilizar la misma fórmula del caso anterior pero con $p = 10/3$.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 300 \text{ rpm}} \left(\frac{14200 \text{ N}}{180,505 \text{ N}} \right)^{\frac{10}{3}}$$

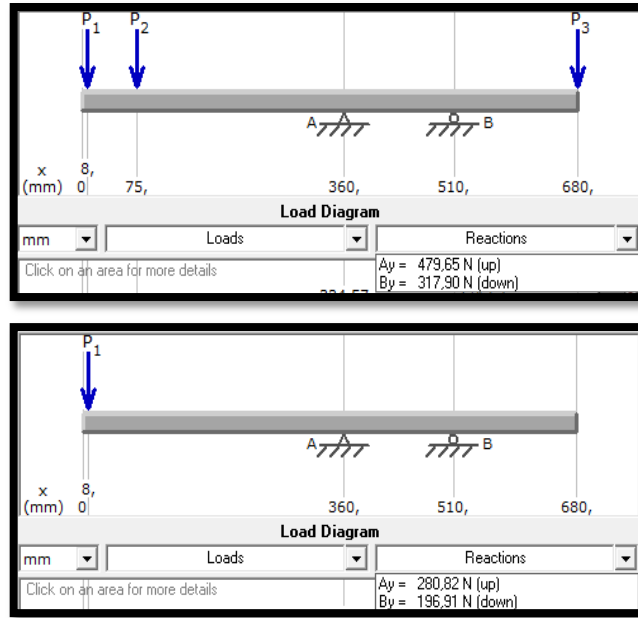
$$L_{10h} = 115893173,4 \text{ horas}$$

El motivo por el cual el número de horas de vida de los rodamientos es excesivamente alto, es que estos rodamientos se utilizan en máquinas en donde la sustitución de los

mismos es muy complicada o cuando se requiere que tengan la misma vida útil que la máquina.

3.1.5.3 Selección de las chumaceras para el eje transmisor. Para el eje transmisor se debe realizar el cálculo de las reacciones, tanto en el plano xy con en el plano xz.

Figura 47. Reacciones en el plano xy y en el plano xz



Fuente: Autores

$$RA = \sqrt{RA_{xy}^2 + RA_{xz}^2} \quad (25)$$

$$RA = \sqrt{(479,65 \text{ N})^2 + (292,45 \text{ N})^2} = 561,77 \text{ N}$$

$$RB = \sqrt{RB_{xy}^2 + RB_{xz}^2} \quad (26)$$

$$RB = \sqrt{(317,9 \text{ N})^2 + (196,91 \text{ N})^2} = 373,94 \text{ N}$$

Para la selección de la las chumaceras se toma como carga dinámica al valor más alto, el cual es $C_r = 561,77 \text{ N}$

Del catálogo del fabricante del fabricante KDF se selecciona las chumaceras P207 UPC 207 con diámetro interno de 35mm. Estas chumaceras soportan una carga

dinámica de hasta 24500 N. Para calcular la vida útil nominal básica en horas, se tiene que utilizar la misma fórmula del primer caso.

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 * 300 \text{ rpm}} \left(\frac{24500 \text{ N}}{561,77 \text{ N}} \right)^3$$

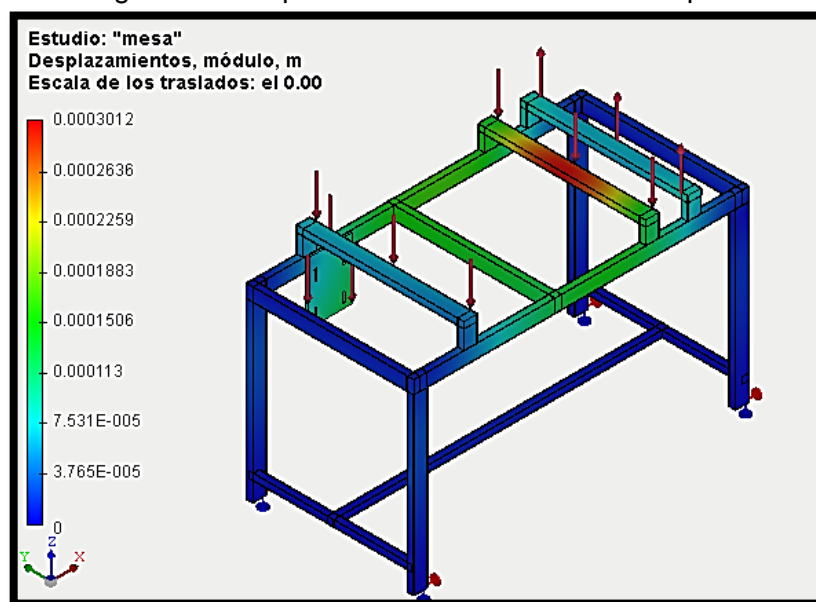
$$L_{10h} = 4608399,48 \text{ horas}$$

3.1.6 Diseño la estructura de soporte. La estructura de soporte debe ser lo suficientemente fuerte como para alojar todos los elementos del banco didáctico y posibles cargas externas.

Por esta razón se utilizará tubo estructural rectangular (ASTM A-500) y cuadrado (ASTM A-500), el cual nos garantizará que nuestro diseño soporte todas las cargas a las cuales va a ser sometido, y además tenga diseño estético. Luego de haber realizado el estudio de la estructura nos muestra los siguientes resultados:

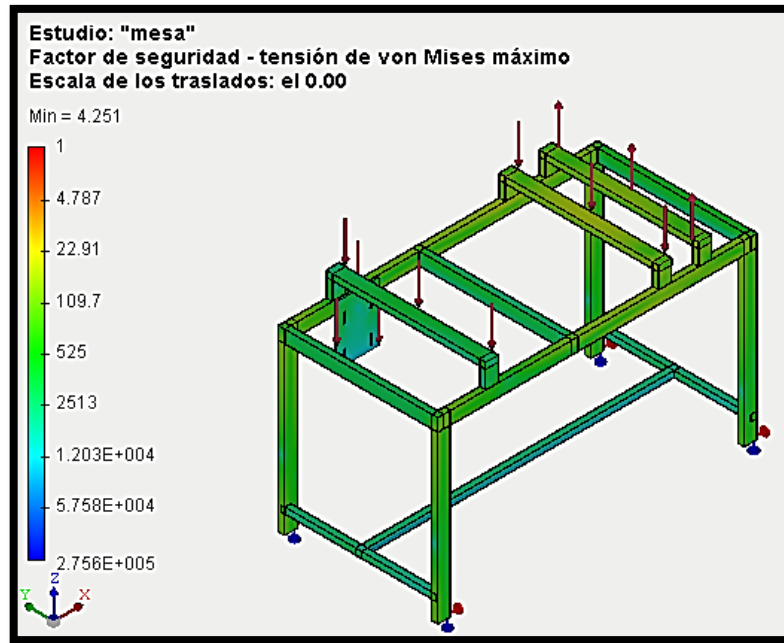
- La Figura 54 corresponde a los desplazamientos que se presentan en el diseño, el mismo que tiene un valor máximo de 0,3012 mm.
- En la Figura 55 se puede observar que el valor mínimo del factor de seguridad es de 4,251; el cual es un valor óptimo para garantizar la correcta funcionalidad del diseño.

Figura 48. Desplazamientos en la mesa de soporte



Fuente: Autores

Figura 49. Factor de seguridad de la mesa de soporte



Fuente: Autores

3.2 Selección y diseño de elementos eléctricos y electrónicos

En esta sección se analizará todo lo referente al control eléctrico y electrónico que operará el sistema.

3.2.1 Componentes eléctricos. En este subtema se realizarán la selección de los elementos eléctricos principales que conformarán el banco didáctico.

3.2.1.1 Selección de actuadores eléctricos lineales. En la automatización del banco didáctico, específicamente para lograr los accionamientos de los embragues y frenos de cinta y parking, se va a usar un actuador que sea de fácil adaptación al mecanismo y que cumpla con la función que se requiere.

Para esto se utilizará los servomotores que accionan los seguros de las puertas de los automóviles en los sistemas de cierre centralizado (ver Figura56). Estos cuentan con un innovador mecanismo EFS (Easy Fit System), el cual permite una instalación mucho más rápida y sencilla; su funcionamiento es ultra suave y además es el actuador lineal más confiable del mercado.

Figura 56. Actuador para seguros eléctricos

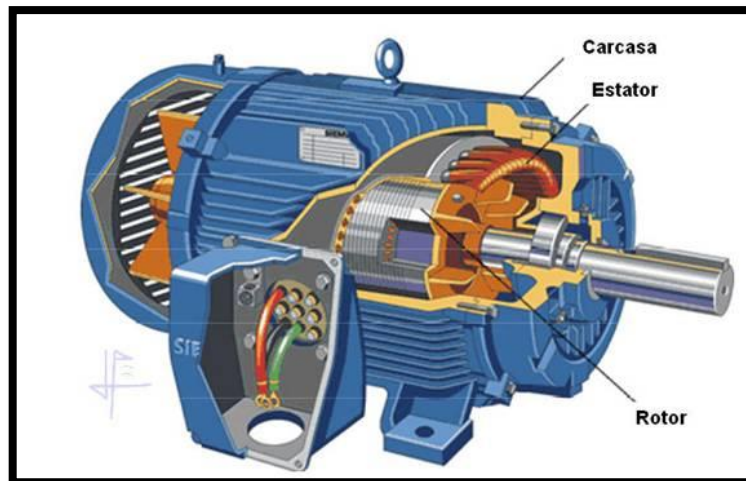


Fuente: http://www.steren.com.mx/_imgs/prod/grande/AUT-090.jpg

3.2.1.2 Motor eléctrico trifásico. Es una máquina eléctrica rotativa, capaz de convertir la energía eléctrica trifásica suministrada, en energía mecánica. La energía eléctrica trifásica origina campos magnéticos rotativos en el bobinado del estator (o parte fija del motor).

Los motores eléctricos trifásicos, se fabrican en las más diversas potencias, desde una fracción de caballo hasta varios miles de caballos de fuerza (hp), se los construye para prácticamente, todas las tensiones y frecuencias (50 y 60 Hz) normalizadas y muy a menudo, están equipados para trabajar a dos tensiones nominales distintas.

Figura 50. Motor eléctrico trifásico

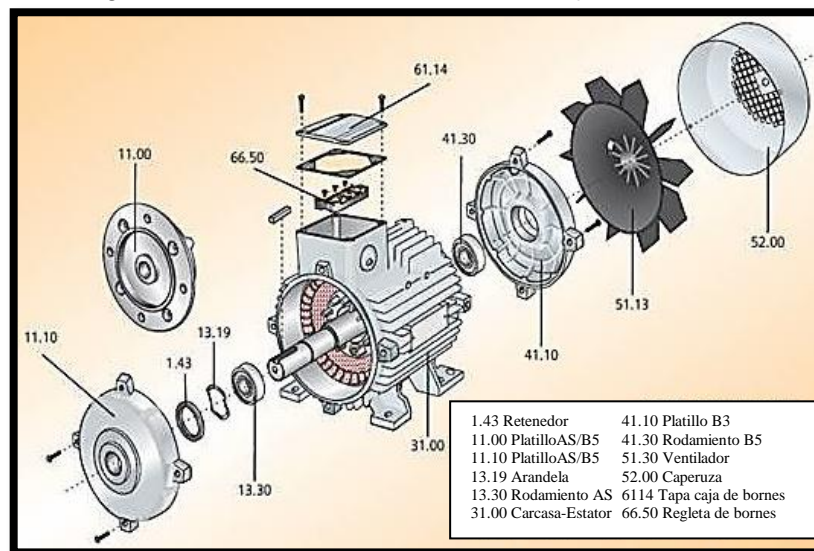


Fuente: <http://www.tuveras.com/maquinaasincrona/partes.jpg>

Motor eléctrico trifásico asíncrono o de inducción .Los motores asíncronos o de inducción son aquellos motores eléctricos en los que el rotor nunca llega a girar en la misma frecuencia con la que lo hace el campo magnético del estator. Cuanto mayor es el par motor mayor es esta diferencia de frecuencias. La mayoría de los motores

trifásicos tienen una carga equilibrada, es decir, consumen lo mismo en las tres fases, ya estén conectados en estrella o en triángulo. Las tensiones en cada fase en este caso son iguales al resultado de dividir la tensión de línea por raíz de tres. Por ejemplo, si la tensión de línea es 380 V, entonces la tensión de cada fase es 220 V. (PRADA, 2008)

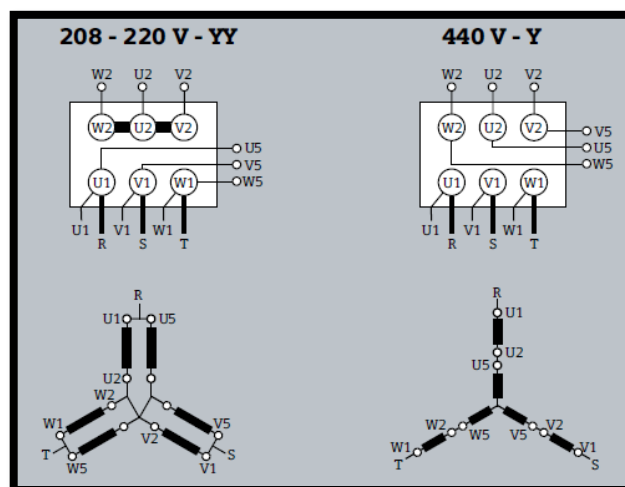
Figura 51. Motor trifásico inductivo de jaula de ardilla



Fuente: Manual Motores trifásicos de inducción Siemens

Selección del motor eléctrico. Para el presente proyecto se seleccionará un motor trifásico inductivo de jaula de ardilla de la marca Siemens, de 1800 rpm y 4 polos modelo 1LA7 080-4YA60, con una potencia de 1 hp; cuya velocidad nominal es de 1660rpm.

Figura 52. Conexión de motores trifásicos modelo 1LA7 080-4YA60

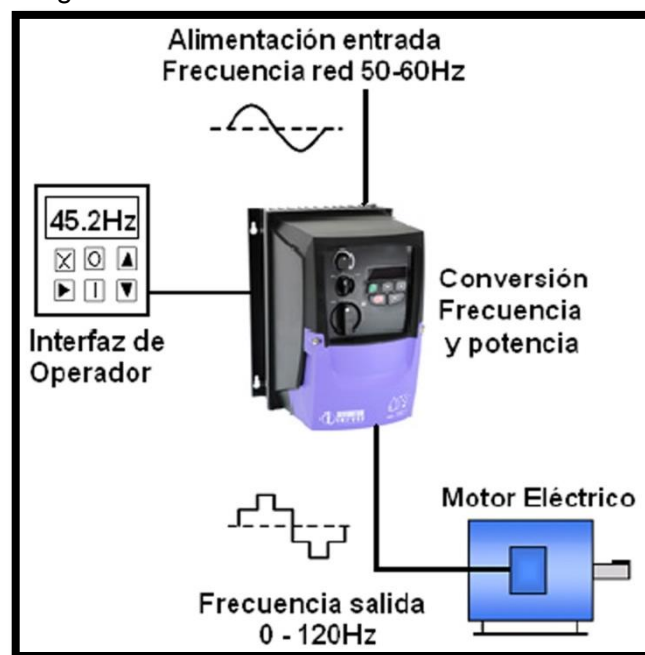


Fuente: Manual Motores trifásicos de inducción Siemens

3.2.1.3 Variador de frecuencia. Un variador de frecuencia es un dispositivo utilizado para controlar la velocidad de rotación de un motor trifásico de inducción. El variador de frecuencia se coloca entre la red y el motor. El variador recibe la tensión de red a la frecuencia de red (60Hz) y tras convertirla y después ondularla produce una tensión con frecuencia variable. La velocidad de un motor va prácticamente proporcional a la frecuencia. Además de cambiar la frecuencia, el variador también varía el voltaje aplicado al motor para asegurar que existe el par necesario en el eje del motor sin que surjan problemas de sobrecalentamiento.

Los convertidores están controlados por microprocesador y utilizan tecnología IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) de última generación. Esto los hace fiables y versátiles. Un método especial de modulación por ancho de impulsos con frecuencia de pulsación seleccionable permite un funcionamiento silencioso del motor.

Figura 53. Conexión del variador de frecuencia



Fuente: <http://www.elblogdelinstalador.com/wp-content/uploads/2012/02/CONVERTIDOR-266x300.jpg>

Cuando comparamos la alimentación de un variador de frecuencia con la alimentación convencional de un motor notamos las siguientes ventajas:

- Menor consumo. Con una alimentación convencional el motor funciona siempre a velocidad nominal. Con un variador la velocidad se ajusta a la velocidad necesaria.
- Instalación más sencilla con menos errores de cableado.

- Funciones de protección: límite de corriente, fallo de tierra, protección contra caída de tensión, etc.
- Arranque y paradas suaves. Alarga la vida del motor, evita daños en elementos auxiliares.
- Posibilidad de control y seguimiento por ordenador. Los variadores pueden enviar información a un ordenador para su posterior análisis.
- Cubre necesidades de regulación.
- No usa contados ON/OFF. Esto proporciona seguridad y fiabilidad.
- Facilidad y seguridad para cambiar de sentido de giro.

Selección del variador de frecuencia. Para la selección del variador de frecuencia, se toma en cuenta la potencia del motor eléctrico trifásico y el voltaje de alimentación. El variador de frecuencia adecuado para el control de nuestro motor es el Siemens Sinamics G110, el cual se utiliza para motores de hasta 0,75 Kw \approx 1 hp.

Figura 54. Variador de frecuencia Siemens Sinamics G110



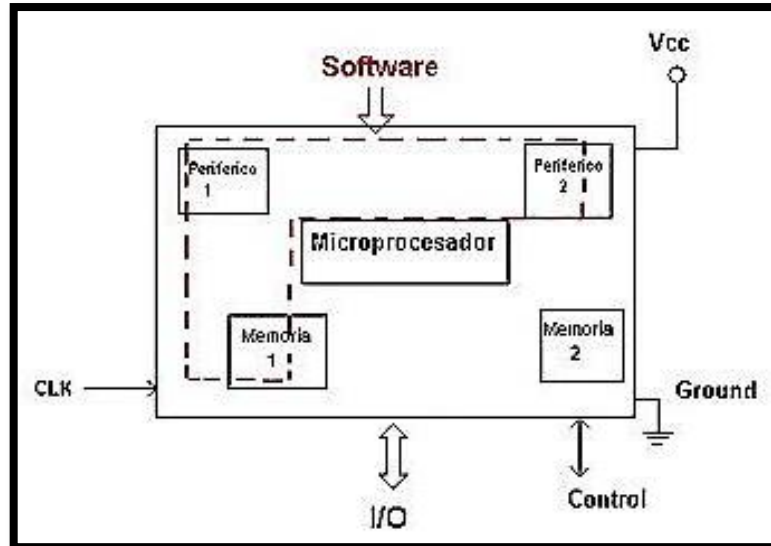
Fuente: Manual Sinamics G110 Siemens

3.2.2 Componentes electrónicos. En este subtema se realizarán la selección de los elementos electrónicos principales que conformarán el banco didáctico.

3.2.2.1 El microcontrolador. Un microcontrolador es un circuito integrado programable, capaz de ejecutar las órdenes grabadas en su memoria. Está compuesto de varios bloques funcionales, los cuales cumplen una tarea específica. Un microcontrolador incluye en su interior las tres principales unidades funcionales de una computadora: unidad central de procesamiento, memoria y periféricos de entrada/salida. Los microcontroladores son diseñados para reducir el costo económico

y el consumo de energía de un sistema en particular. Por eso el tamaño de la unidad central de procesamiento, la cantidad de memoria y los periféricos incluidos dependerán de la aplicación.

Figura 55. Esquema de un microcontrolador



Fuente: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/c/cb/Microcontrolador.jpg/400px-Microcontrolador.jpg>

El microcontrolador PIC 16F628A. Se trata de uno de los microcontroladores más populares del mercado actual, ideal para principiantes, debido a su arquitectura de 8 bits, 18 pines, y un set de instrucciones RISC muy amigable para memorizar y fácil de entender, internamente consta de:

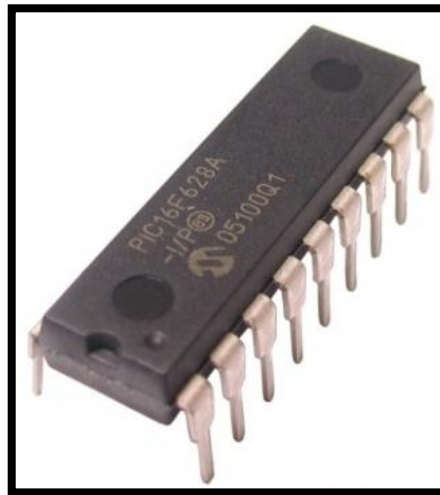
- Memoria Flash de programa (1K x 14).
- Memoria EEPROM de datos (64 x 8).
- Memoria RAM (68 registros x 8).
- Un temporizador/contador (timer de 8 bits).
- Un divisor de frecuencia.
- Varios puertos de entrada-salida (13 pines en dos puertos, 5 pines el puerto A y 8 pines el puerto B).

Otras características son:

- Manejo de interrupciones (de 4 fuentes).
- Perro Guardián (watchdog).
- Bajo consumo.

- Frecuencia de reloj externa máxima 10MHz. (Hasta 20MHz en nuevas versiones). La frecuencia de reloj interna es un cuarto de la externa, lo que significa que con un reloj de 20Mhz, el reloj interno sería de 5Mhz y así pues se ejecutan 5 Millones de Instrucciones por Segundo (5 MIPS)
- Pipe-line de 2 etapas, 1 para búsqueda de instrucción y otra para la ejecución de la instrucción (los saltos ocupan un ciclo más).
- Repertorio de instrucciones reducido (RISC), con tan solo 30 instrucciones distintas.
- 4 tipos distintos de instrucciones, orientadas a byte, orientadas a bit, operación entre registros, de salto.

Figura 56. Microcontrolador PIC 16F628A

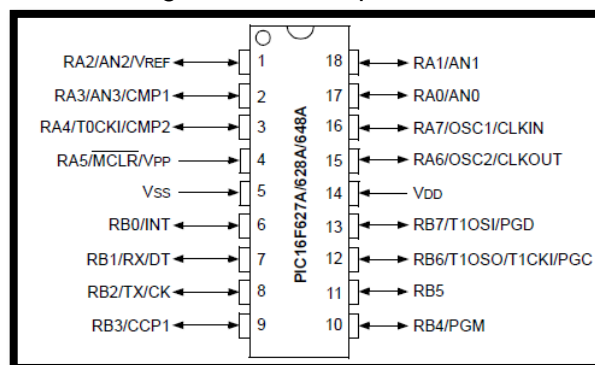


Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-FD-k5qy-XMo/T29uMhnnY1I/AAAAAAAAASU/4JFZuRF48Jg/s1600/PIC16F628A-IP.jpg>

En los últimos años se ha popularizado el uso de este microcontrolador debido a su bajo costo y tamaño. Se ha usado en numerosas aplicaciones, que van desde los automóviles a decodificadores de televisión. Es muy popular su uso por los aficionados a la robótica y electrónica.

Puede ser programado tanto en lenguaje ensamblador como en Basic y principalmente en C, para el que existen numerosos compiladores. Cuando se utilizan los compiladores Basic, es posible desarrollar útiles aplicaciones en tiempo récord, especialmente dirigidas al campo doméstico y educacional.

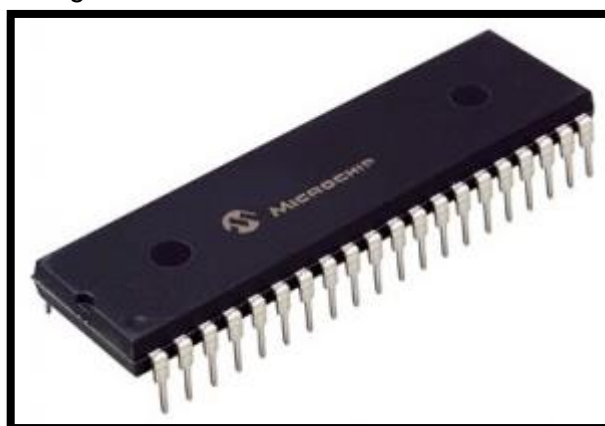
Figura 57. Designación de los pines del PIC 16F628A



Fuente: <http://www.bilbaoelectronics.com/pinout-16f628a.gif>

El microcontrolador PIC 16F877A. Es un microcontrolador con memoria de programa tipo FLASH, lo que representa gran facilidad en el desarrollo de prototipos y en su aprendizaje ya que no se requiere borrarlo con luz ultravioleta como las versiones EPROM, sino que permite reprogramarlo nuevamente sin ser borrado con anterioridad.

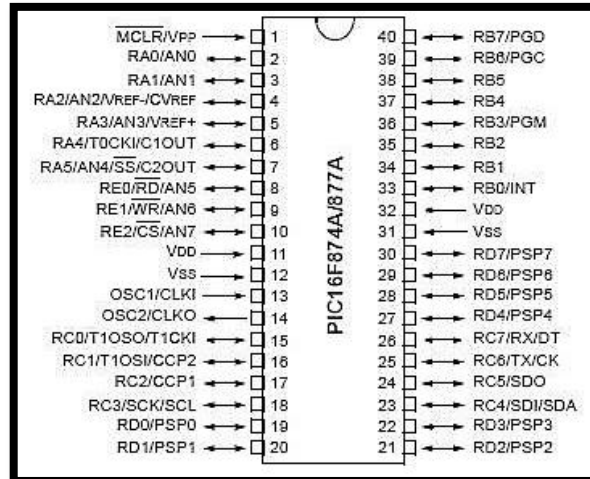
Figura 58. Microcontrolador PIC 16F877A



Fuente: <http://burgath.com/wp-content/uploads/2012/06/PIC2-454x320.jpg>

El encapsulado más común para este microcontrolador es el DIP (Dual In-line Pin) de 40 pines, propio para usarlo en experimentación. La referencia completa es PIC16F877-04 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 4 MHz, PIC16F877-20 para el dispositivo que utiliza cristal oscilador de hasta 20 MHz o PIC16F877A-I para el dispositivo tipo industrial que puede trabajar hasta a 20 MHz. Sin embargo, hay otros tipos de encapsulado que se pueden utilizar según el diseño y la aplicación que se quiere realizar. Por ejemplo, el encapsulado tipo surface mount (montaje superficial) tiene un reducido tamaño y bajo costo, que lo hace propio para producciones en serie o para utilizarlo en lugares de espacio muy reducido.

Figura 66. Designación de los pines del PIC 16F877A



Fuente: http://www.robotsperu.org/foros/posted_img_thumbnail.php?pic_id=http://static.flickr.com/67/204628948_1f3be12a7e.jpg

3.2.2.2 LCD. Una pantalla de cristal líquido o LCD es una pantalla delgada y plana formada por un número de píxeles en color o monocromos colocados delante de una fuente de luz o reflectora. A menudo se utiliza en dispositivos electrónicos de pilas, ya que utiliza cantidades muy pequeñas de energía eléctrica.

Display LCD 16x2. Desde todo punto de vista el empleo del display LCD 16x2 (LCD 2x16) debería considerarse como la primera opción a la hora de decidir por un dispositivo de presentación alfanumérica, excepto cuando las condiciones de iluminación ambiental no sean las más favorables.

En este último caso se debería pensar en el empleo de displays de 7 segmentos, que aunque no tienen la misma versatilidad tienen la ventaja innegable de sus mejores características de visibilidad aún en los ambientes más desfavorables.

Figura 59. LCD 16x2



Fuente: <http://img.youtube.com/vi/eX60HCOwmy4/0.jpg>

El LCD 16x2 (LCD 2x16) tiene en total 16 pines (tome en cuenta que la posición correcta del display es con los pines en la parte superior, aunque existen modelos en los que la posición correcta es con los pines en la parte inferior). La tabla 9 muestra 14 pines, los dos pines adicionales son el ánodo (15) y el cátodo (16) del LED de fondo. Debe notarse que el controlador Hitachi HD44780 se encuentra incorporado al circuito impreso del módulo LCD y que sirve de interfaz entre la propia pantalla LCD (donde se muestran los caracteres) y el microcontrolador PIC. Por lo tanto, de todos los pines del HD44780 únicamente se tiene acceso a aquellos necesarios para la conexión al PIC y para el control de contraste.

Tabla 9. Asignación de pines del LCD 16x2

Número de Pin	Símbolo	Función	
1	GND	Alimentación	0V Masa
2	VCC		+5V
3	VS		Contraste LCD
4	RS	Selección de Registro ("1" para datos, "0" para instrucciones)	
5	R/W	Lectura/Escritura ("1" para lectura, "0" para escritura)	
6	E	Habilitación	
7	DB0	Bus de datos Bit 0	
8	DB1	Bus de datos Bit 1	
9	DB2	Bus de datos Bit 2	
10	DB3	Bus de datos Bit 3	
11	DB4	Bus de datos Bit 4	
12	DB5	Bus de datos Bit 5	
13	DB6	Bus de datos Bit 6	
14	DB7	Bus de datos Bit 7	
15	A	Ánodo del led de retroiluminación	
16	K	Cátodo del led de retroiluminación	

Fuente: http://tallerarduino.files.wordpress.com/2012/01/lcd_pins1.png

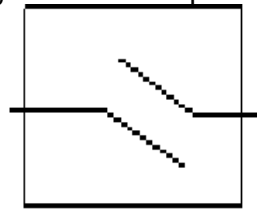
3.2.2.3 Sensores. Un sensor es un aparato capaz de transformar magnitudes físicas o químicas, llamadas variables de instrumentación, en magnitudes eléctricas. Las variables de instrumentación dependen del tipo de sensor y pueden ser por ejemplo: temperatura, intensidad lumínica, distancia, aceleración, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, etc. Una magnitud eléctrica obtenida puede ser una resistencia eléctrica (como en una RTD), una capacidad eléctrica (como en un sensor de humedad), una tensión eléctrica (como en un termopar), una corriente eléctrica (como un fototransistor), etc.

Existen diferentes tipos de sensores, en función del tipo de variable que tengan que medir o detectar:

- De contacto.
- Ópticos.
- Térmicos.
- De humedad.
- Magnéticos.
- De infrarrojos.

Sensores magnéticos. Detecta los campos magnéticos que provocan los imanes o las corrientes eléctricas. El principal es el llamado interruptor Reed; consiste en un par de láminas metálicas de materiales ferromagnéticos metidas en el interior de una cápsula que se atraen en presencia de un campo magnético, cerrando el circuito. Su símbolo recuerda vagamente al del interruptor convencional (ver Figura 68).

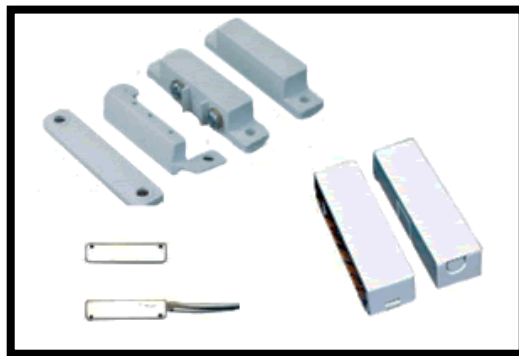
Figura 60. Interruptor reed



Fuente: http://recursostic.educacion.es/secundaria/edad/4esotecnologia/quincena11/imagenes_11/simbolo_interruptor_Reed.gif

Los detectores magnéticos disponen, a diferencia de los detectores inductivos, de un alcance notablemente mayor conservando al mismo tiempo un diseño compacto. Los alcances de hasta 70 milímetros son habituales.

Figura 61. Sensores magnéticos de fijación



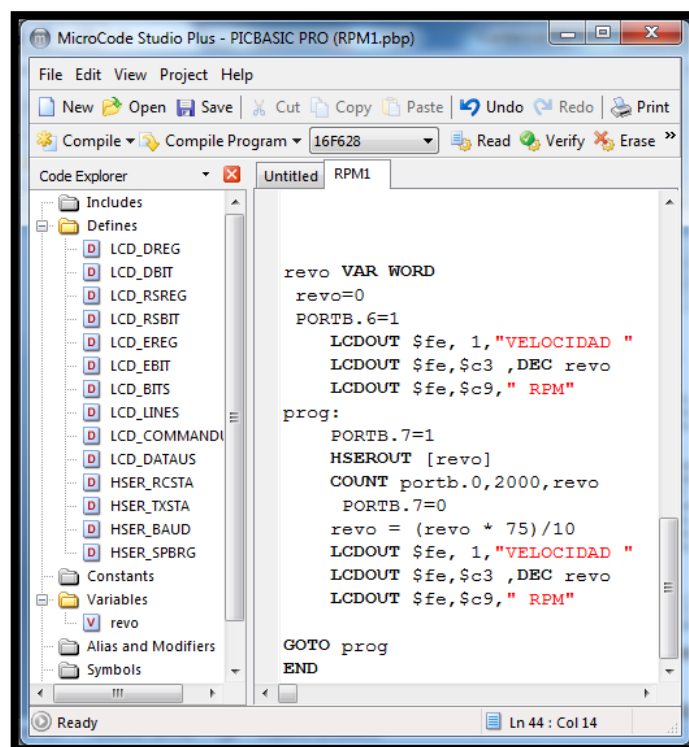
Fuente: http://www.blueguard.com.mx/images/sensores_magneticos.gif

Con imanes adecuados se pueden conseguir incluso alcances de 90 milímetros. La única condición: el objeto que se va a detectar debe estar dotado de un imán, ya que sólo ante éste reaccionará el sensor.

3.2.3 Diseño del tacómetro. Se requiere diseñar un tacómetro digital que nos permita visualizar la velocidad angular, tanto como para el eje impulsor como para el eje transmisor. Cada tacómetro emplea un microcontrolador que se encargará del conteo y procesamiento de los pulsos enviados por los sensores, para luego enviar la información hacia el LCD.

3.2.3.1 Programación del Microcontrolador PIC 16F628A. Para la programación se utiliza el programa MicroCode Studio Plus - PIC BASIC PRO, el cual nos permite programar al PIC en lenguaje de alto nivel, como es el lenguaje BASIC. Definimos los pines a utilizar del LCD y declaramos las variables que se van a utilizar en el programa.

Figura 62. Reconocimiento de pulsos



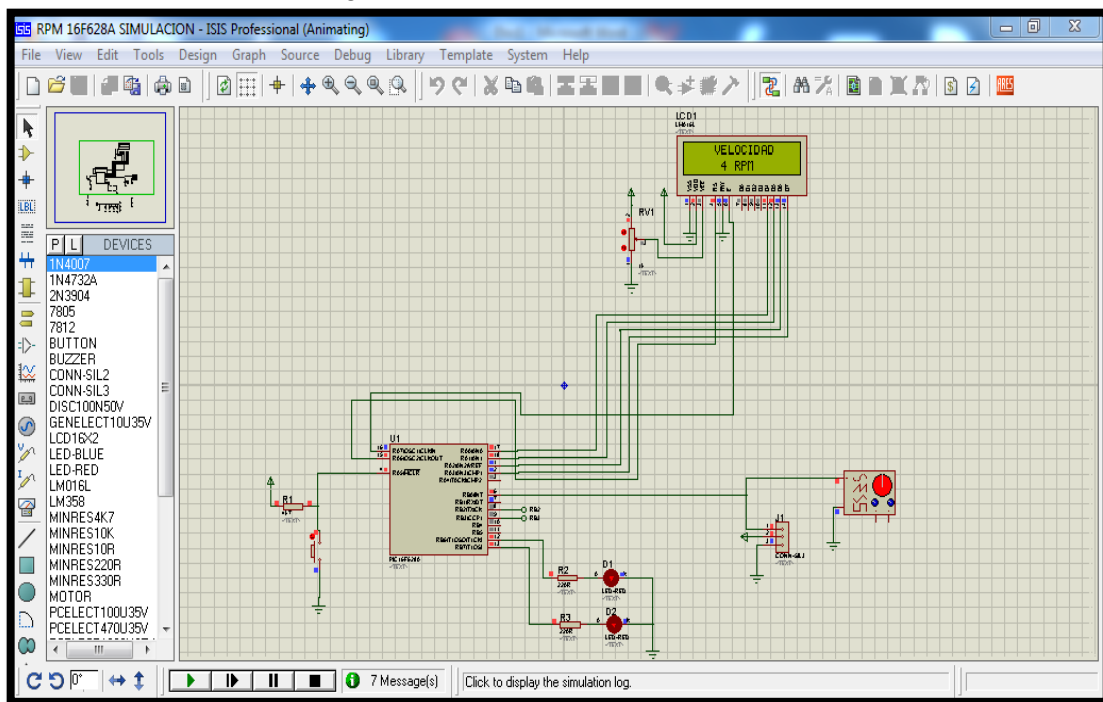
Fuente: Autores

Como siguiente paso se procederá a realizar el cuerpo del programa para que este reconozca los pulsos entregados por el sensor hacia el pin B.0 del microcontrolador. En el cual se capta el número de pulsos generados en 2 segundos. El sensor captará

4 pulsos por revolución debido a que el eje contará con 4 imanes que serán los encargados de activar el interruptor del sensor y enviar los pulsos hacia el microcontrolador. Por esta razón los pulsos captados serán multiplicados por 7,5 para poder visualizar la velocidad angular en revoluciones por minuto. Además uno de los tacómetros tendrá que enviar la información al circuito de control para realizar los cambios automáticos, esto se logra aumentando la siguiente línea HSEROUT [revo].

Una vez creado el programa se procede a realizar el circuito electrónico mediante la utilización del software PROTEUS (con su herramienta ISIS). Este programa ayudará en la elaboración del circuito esquemático. En la Figura 71 se muestra el circuito final del tacómetro digital.

Figura 63. Circuito final del tacómetro



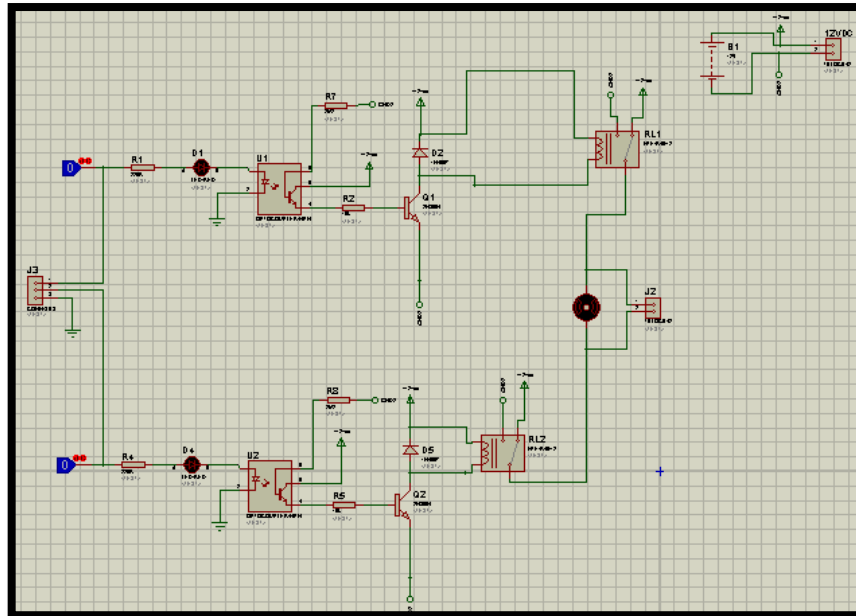
Fuente: Autores

3.2.4 Diseño del circuito para el avance y retroceso de los actuadores. Para realizar el avance o el retroceso de los actuadores, es necesario implementar un Puente H que permite a un motor de corriente continua girar en ambos lados; ya que nuestros actuadores tienen incorporados unos motores de corriente continua, que por medio de un sistema de engranajes permiten el desplazamiento lineal hacia adelante o hacia atrás.

En la Figura 72 se muestra el circuito de Puente H diseñado con relés que serán activados por el microcontrolador del circuito de control de acuerdo a la marcha

seleccionada. Este circuito cuenta con unos fototransistores (4N25) que son los encargados de dividir el circuito de control con el de alimentación de los motores, para evitar que se introduzca ruido eléctrico al sistema de control.

Figura 64. Circuito de Puente H

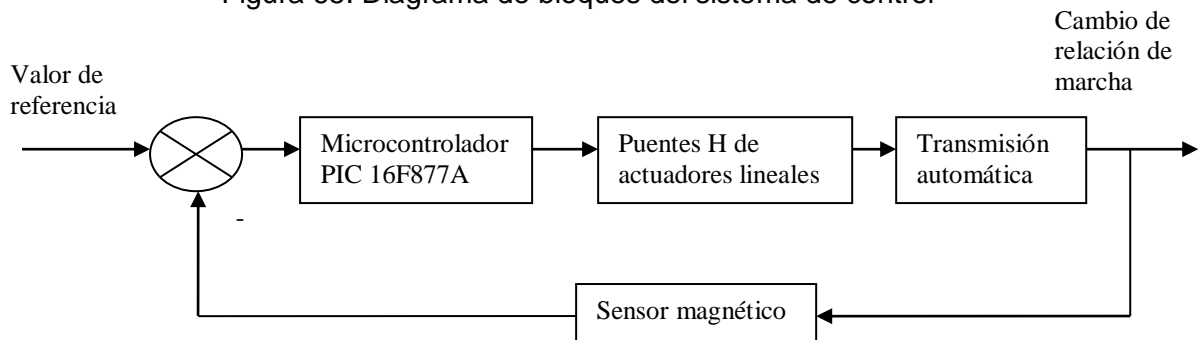


Fuente: Autores

3.2.5 *Diseño del circuito de control.* Para realizar el circuito de control de los accionamientos de las diferentes marchas, se utilizará el valor de las revoluciones del eje impulsor que se tomará de uno de los tacómetros digitales y también los puentes H de los actuadores lineales, que nos permitirán accionarlos dependiendo de la marcha seleccionada.

Para la selección de los diferentes mandos de la palanca selectora de cambios, utilizaremos seis pulsadores que se encargarán de activar las secuencias.

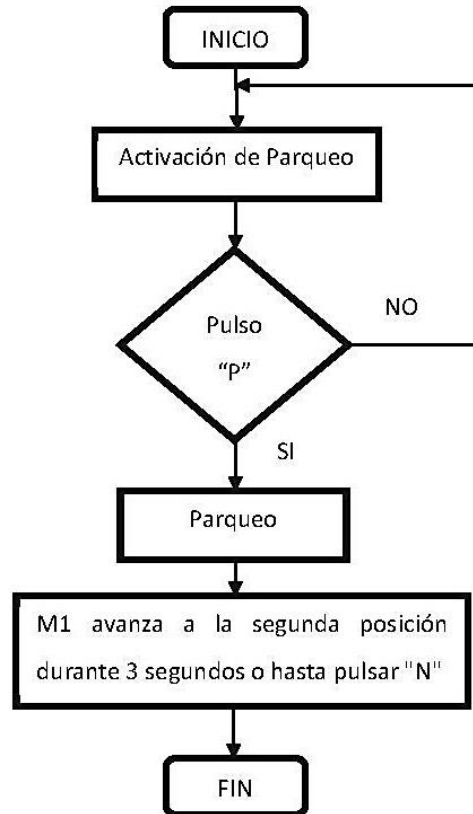
Figura 65. Diagrama de bloques del sistema de control



Fuente: Autores

Para la activación del actuador de parqueo se tiene la secuencia de la Figura 74, en el que al enviar un pulso al microcontrolador mediante la activación del pulsador “P”, se envía la señal hacia el puente H correspondiente al actuador de parqueo (M1) por un tiempo de 3 segundos o hasta que se presione el pulsador “N”.

Figura 66. Diagrama de flujo de activación de parqueo

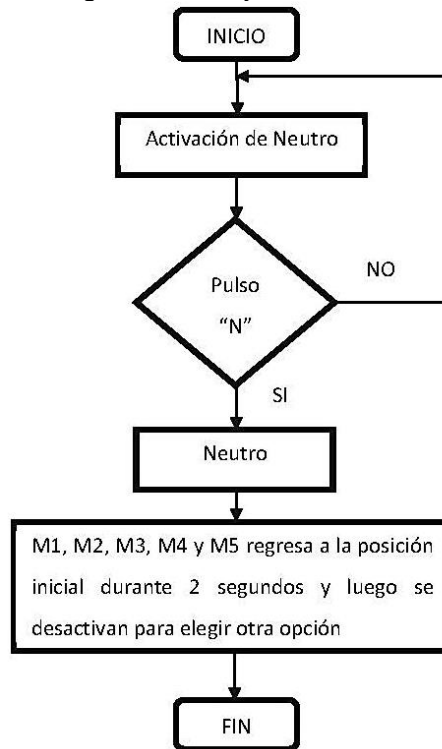


Fuente: Autores

Para la activación de neutro se tiene la secuencia de la Figura 75, en el que al enviar un pulso al microcontrolador mediante la activación del pulsador “N”, todos los actuadores (M1, M2, M3, M4 y M5) retornan a su posición inicial durante 2 segundos; y luego se podrá seleccionar otra opción.

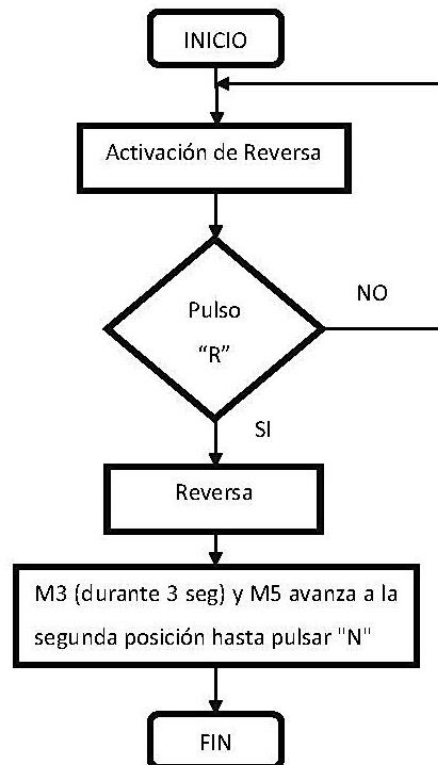
Para la activación de reversa se tiene la secuencia de la Figura 76, en el que al enviar un pulso al microcontrolador mediante la activación del pulsador “R”, se envía la señal hacia el puente H correspondiente al actuador del embrague 2 (M3) durante 3 segundos y al freno 2 (M5) por un tiempo indefinido, hasta que se presione el pulsador “N”.

Figura 67. Diagrama de flujo de activación de neutro



Fuente: Autores

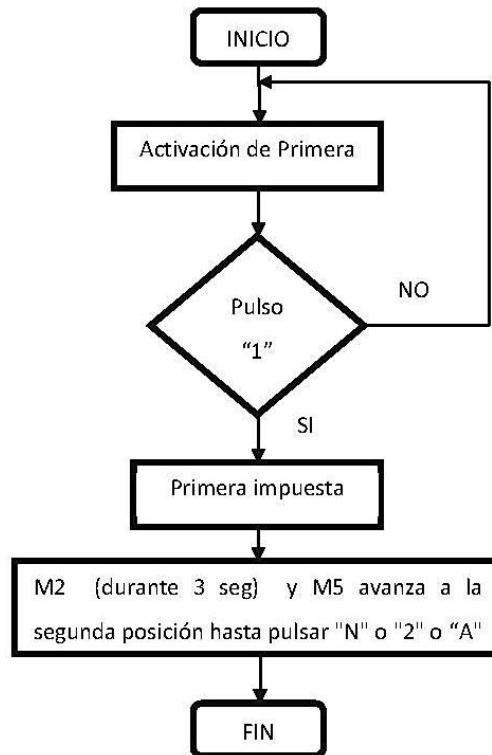
Figura 68. Diagrama de flujo de activación de reversa



Fuente: Autores

Para la activación de primera marcha se tiene la secuencia de la Figura 77, en el que al enviar un pulso al microcontrolador mediante la activación del pulsador “1”, se envía la señal hacia el puente H correspondiente al actuador del embrague 1 (M2) durante 3 segundos y al freno 2 (M5) hasta que se presione otra opción; en esta posición queda seleccionada la primera marcha, sin que se pueda pasar automáticamente a otra relación, hasta que se presione el pulsador “N”, “2” o “A”.

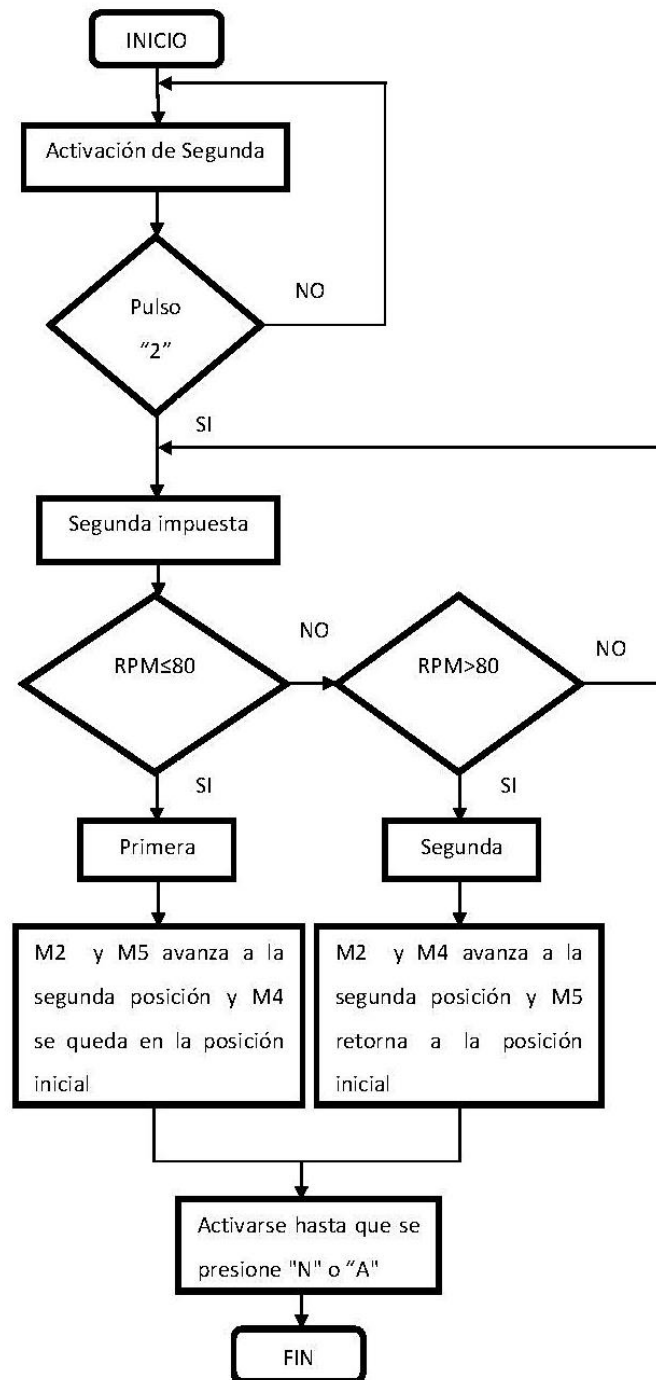
Figura 69. Diagrama de flujo de activación de primera marcha



Fuente: Autores

Para la activación de segunda marcha, la cual tiene el cambio automático de primera a segunda, se tiene la secuencia de la Figura 78, en el que al enviar un pulso al microcontrolador mediante la activación del pulsador “2”, se inicia una simulación de cambio automático; es decir, se accionan los actuadores lineales de la primera marcha durante el tiempo que dure la condición de velocidad señalada; luego se accionan los actuadores lineales de la segunda marcha durante el tiempo que dure la condición de velocidad señalada. Esto se lo realiza ya que al conducir con la palanca en posición de segunda, los cambios de primera a segunda marcha o viceversa se dan de forma automática. Igualmente se puede parar la simulación pulsando neutro o el pulsador de cambio totalmente automático.

Figura 78. Diagrama de flujo de activación de segunda marcha

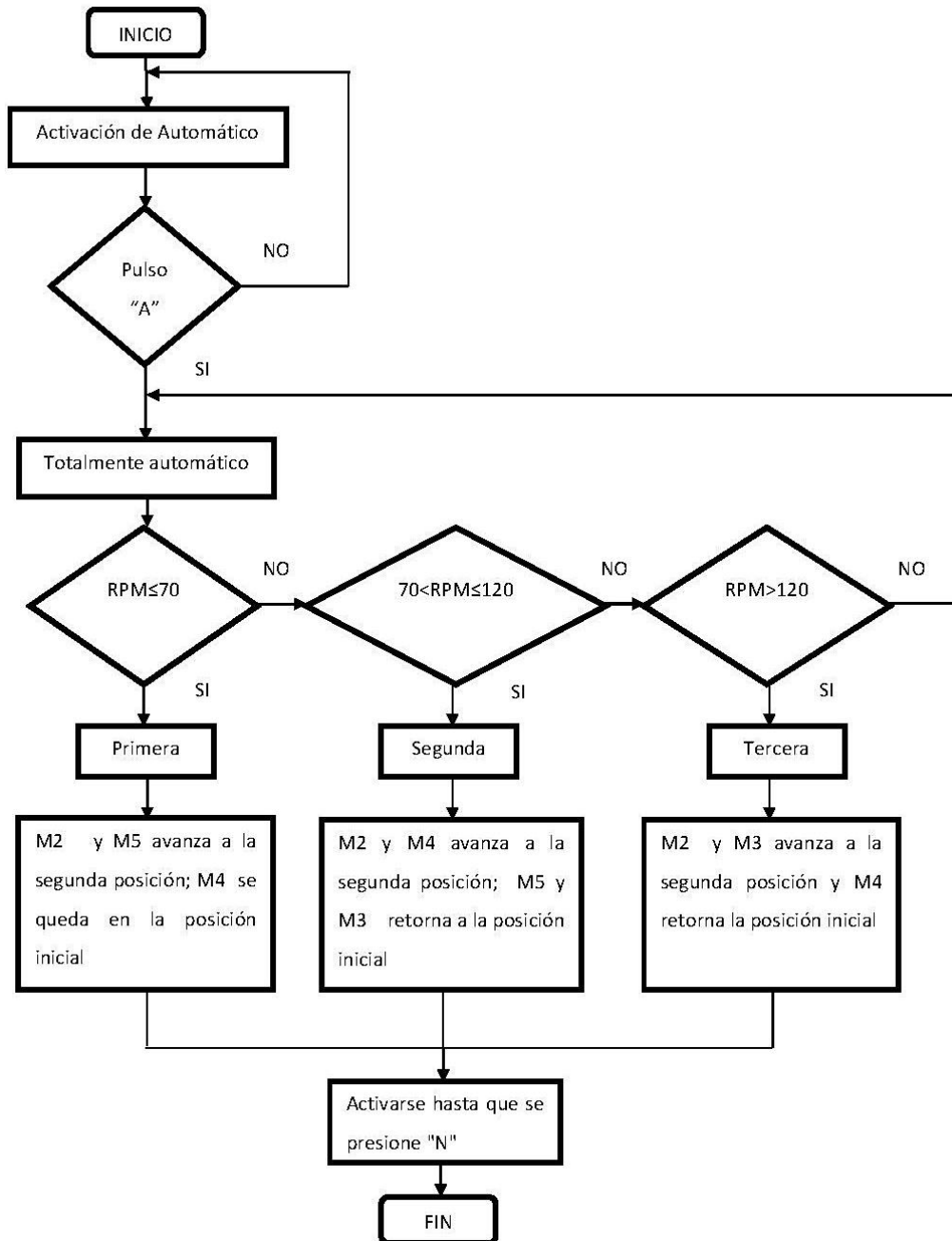


Fuente: Autores

Para la activación de Drive (cambio totalmente automático), la cual tiene el cambio automático de primera a segunda y a tercera o directa, se tiene la secuencia de la Figura 79, la cual realiza la misma función que la anterior, pero aumentando la condición para la activación de la tercera marcha. Aquí cambian los valores de las condiciones de velocidad con respecto a la secuencia anterior, debido a que en la

posición de drive se la utiliza cuando el vehículo circula en carretera y zona urbanas, mientras que en segunda impuesta es para circulación por montaña.

Figura 70. Diagrama de flujo de activación del cambio totalmente automático

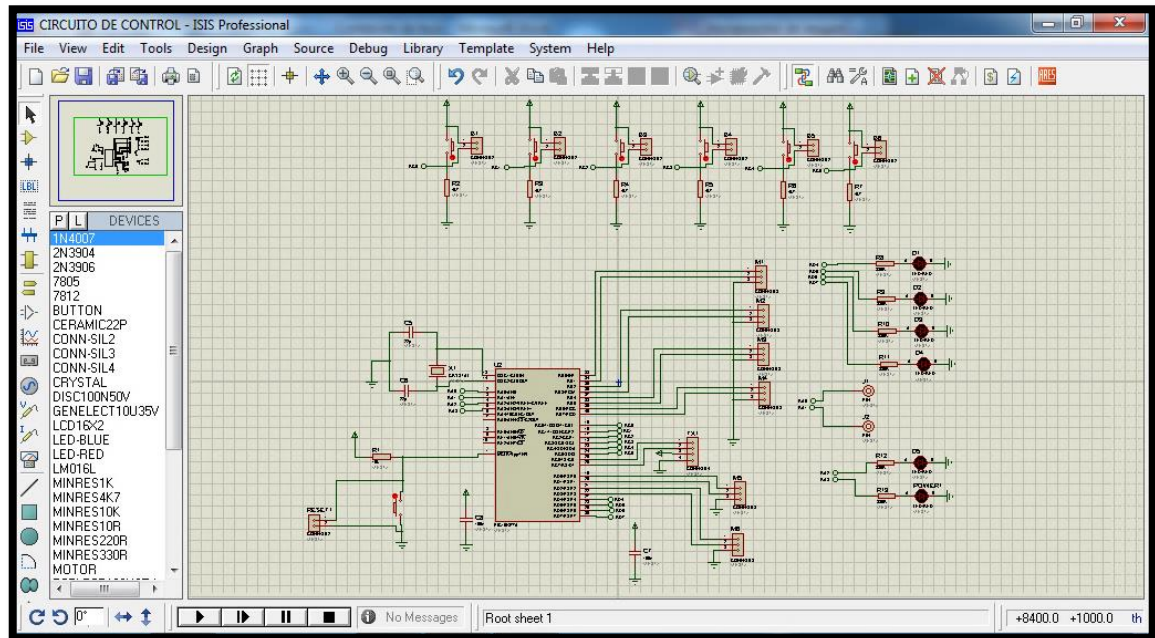


Fuente: Autores

3.2.5.1 Programación del Microcontrolador PIC 16F877A. La programación del microcontrolador se lo realiza tomando en cuenta los parámetros de cada marcha mencionados anteriormente. Tomando los datos enviados por el tacómetro digital

correspondiente al impulsor. En la Figura 80 se puede apreciar el circuito de control final.

Figura 71. Circuito de control



Fuente: Autores

CAPÍTULO IV

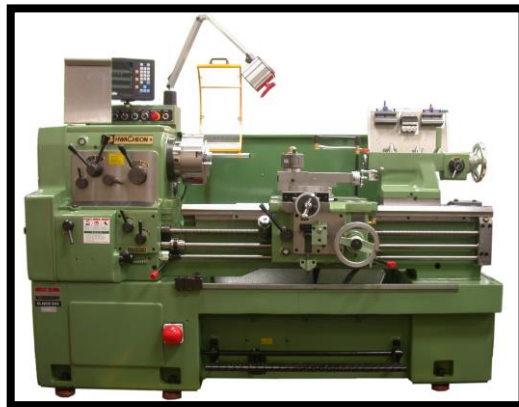
4. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLAJE

4.1 Equipos utilizados para la construcción

Para el presente subcapítulo se darán a conocer de forma general los equipos principales que se utilizarán para la construcción de los diferentes elementos diseñados.

4.1.1 Torno. Se utilizará el torno para realizar el mecanizado del eje impulsor diseñado, la rueda de embragues con sus respectivas adecuaciones y las demás piezas que se requieren para adecuar el banco didáctico. Esta máquina herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centrado) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas.

Figura 72. Torno paralelo



Fuente:http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/HwacheonCentreLathe_460x1000.jpg

4.1.2 Fresadora. Se utilizará la fresadora para realizar las canalizaciones en el eje impulsor para la chaveta. La fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizados por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa. Mediante el fresado es posible mecanizar los más diversos materiales como madera, acero, fundición de hierro, metales no férricos y materiales sintéticos, superficies planas o curvas, de entalladura, de ranuras, de dentado, etc. Además las piezas fresadas pueden ser desbastadas o afinadas.

En las fresadoras tradicionales, la pieza se desplaza acercando las zonas a mecanizar a la herramienta, permitiendo obtener formas diversas, desde superficies planas a otras más complejas.

Figura 73. Fresadora



Fuente: <http://machinerychina.es/2-mills/5-2-1b.jpg>

4.1.3 Taladro de pedestal. Estos taladros son de mayor potencia y producen por lo tanto mayor trabajo. Están constituidas por una sólida columna de fundición que forma un eje rígido sobre el cual se desplazan los diferentes elementos de la máquina.

Esta constitución mucho más robusta permite a este tipo de taladros efectuar agujeros de hasta 100 mm de diámetro.

Figura 74. Taladro de pedestal



Fuente: http://www.mpw.cl/fotosmaq/Taladro_pedestal/TPedestal.jpg

4.1.4 Soldadora de proceso MIG. Se utilizará el proceso de soldadura, ya que este es un proceso versátil, pudiendo depositar el metal a una gran velocidad y en todas las

posiciones, este procedimiento es muy utilizado en espesores pequeños y medios en estructuras de acero y aleaciones de aluminio, especialmente donde se requiere un gran trabajo manual.

La soldadura MIG es un proceso de soldadura por arco bajo gas protector con electrodo consumible, el arco se produce mediante un electrodo formado por un hilo continuo y las piezas a unir, quedando este protegido de la atmósfera circundante por un gas inerte.

Figura 75. Soldadora de proceso MIG



Fuente: http://img.directindustry.es/images_di/photo-g/soldadora-mig-mag-monofasica-12065-4820955.jpg

4.1.5 Cortadora de plasma para metales. Para realizar los cortes en las láminas de acero, para realizar la rueda de embragues, adecuación de la corona de entrada y para el soporte del motor eléctrico; se utilizará el corte por plasma. El procedimiento consiste en provocar un arco eléctrico estrangulado a través de la sección de la boquilla del soplete, sumamente pequeña, lo que concentra extraordinariamente la energía cinética del gas empleado, ionizándolo, y por polaridad adquiere la propiedad de cortar.

Esta moderna tecnología es usable para el corte de cualquier material metálico conductor, y más especialmente en acero estructural, inoxidable y metales no férricos.

Este proceso permite mecanizar a altas velocidades de corte y produce menos tiempos muertos, (no se necesita precalentamiento para la perforación). Permite espesores de corte de 0.5 a 160 milímetros, con unidades de plasma de hasta 1000 amperios.

Figura 76. Cortadora de plasma



Fuente: http://mlm-s2-p.mlstatic.com/cortadora-de-plasma-240v-con-display-digital-40-amps-2868-MLM3688442244_012013-F.jpg

4.1.6 Soldador de estaño. También denominado soldador manual o soldador de lápiz. Es utilizado para soldar con estaño, es una herramienta de trabajo básica para las soldaduras de los circuitos eléctricos y electrónicos.

Los cautines eléctricos generan calor, al pasar la corriente por la resistencia hace que la punta se caliente y alcance la temperatura indicada, generalmente un alambre de níquel-cromo de alta resistencia devanado en forma de bobina alrededor de un núcleo de cobre.

El calor desarrollado en este último se transmite por conducción a la punta de la herramienta, hecha de acero inoxidable, y de esta a los puntos de unión y a la soldadura blanda la cual se realiza a temperatura de unos 300° C.

Figura 77. Cautín



Fuente: <http://www.controlremotochile.cl/216-265-thickbox/cautin-40w-74b-type-32.jpg>

4.2 Construcción y detalle de funcionamiento del sistema de transmisión

4.2.1 Construcción y función de elementos mecánicos. En este apartado se detallará el proceso de construcción de los elementos mecánicos y la función que realizará.

4.2.1.1 Construcción de la rueda de embragues. Para la construcción de la rueda de embragues se procedió a realizar un corte con la cortadora de plasma de forma circular de una plancha de acero. Para luego realizar los trabajos de mecanizado con el torno, de acuerdo a las dimensiones especificadas en los planos.

Figura 78. Construcción de la rueda de embragues



Fuente: Autores

Luego de la construcción de la rueda de embrague, se procedió a realizar la modificación de los actuadores lineales, incorporándolos unos pequeños ejes que fueron construidos en el torno.

Figura 79. Actuador lineal modificado



Fuente: Autores

Funcionamiento. La rueda de embragues va montada sobre el eje impulsor y es la encargada de soportar los actuadores lineales, que se encargaran de transmitir el movimiento rotatorio hacia la corona de entrada o casco de impulsión del planetario dependiendo de la marcha accionada.

4.2.1.2 Adecuación de la corona de entrada. Para la adecuación de la corona de entrada, al igual que la rueda de embragues, se procedió a realizar un corte circular con la cortadora de plasma de una plancha de acero delgada.

Figura 80. Modificación de la corona de entrada



Fuente: Autores

Luego de realizar los cortes de acuerdo a las dimensiones especificadas en los planos, se procedió a mecanizar en el torno y posteriormente se unieron la pieza construida con la corona mediante soldadura MIG.

Para el proceso de soldadura de todos los elementos que requirieron ser unidos, se utilizó el alambre AWS A5.18 ER 70S-6, el cual es utilizado en la unión de cualquier tipo de acero al carbono comercial.

Usado ampliamente en la fabricación de equipos, estructuras, ensambles y reparación en materiales delgados; en general en donde se requiere alta calidad de la soldadura, rapidez, limpieza y bajo costo de producción.

Funcionamiento. La modificación de la corona de entrada fue hecha de tal manera que esta cumpla con su función acorde a los nuevos requerimientos de los embragues construidos. La corona es la encargada de recibir el movimiento desde la rueda de embragues y de transmitirlo hacia los planetarios, logrando así los cambios de relación de transmisión; cuando las marchas de primera, segunda y tercera están accionadas.

4.2.1.3 Construcción de los frenos de cinta. Para los frenos de cinta, primero cortamos pedazos de láminas de acero bien delgadas de 1,5 mm de espesor y luego doblamos en la roladora de planchas hasta dejarlas de forma circular.

Figura 81. Construcción de los frenos de cinta



Fuente: Autores

Luego se incorporó el material de fricción en la parte interna de la cinta, además se construyó los elementos del mecanismo de palanca para ejercer presión sobre los frenos.

Funcionamiento. Los frenos de cinta son los encargados de detener el movimiento, tanto como al casco de impulsión del planetario así como al tambor que cubre a los satélites posteriores. Estos reciben la fuerza de los actuadores lineales a través de un mecanismo de palanca. El objetivo de frenar cualquiera de estos elementos, es el de lograr un cambio de relación de marcha.

4.2.1.4 Construcción del eje impulsor. Tomando en cuenta las dimensiones del diseño, se construyó el eje impulsor utilizando el torno para realizar las operaciones de mecanizado cilíndrico y la fresadora para realizar la canalización de alojamiento para la chaveta. En la parte frontal del eje se realizó el alojamiento para montar el rodamiento de rodillos que servirá de soporte para el eje propulsado.

En esta etapa también se mecanizó las piezas de cobre que servirán para el paso de corriente hacia los actuadores mediante escobillas de carbón.

Figura 82. Construcción del eje impulsor



Fuente: Autores

Funcionamiento. El eje impulsor como su nombre lo indica, es el encargado de impulsar al conjunto de engranajes mediante la rueda de embragues que va montada en uno de sus extremos. En el eje va incorporada la polea que recibe el movimiento del motor eléctrico así como también los conductores de corriente para los actuadores lineales.

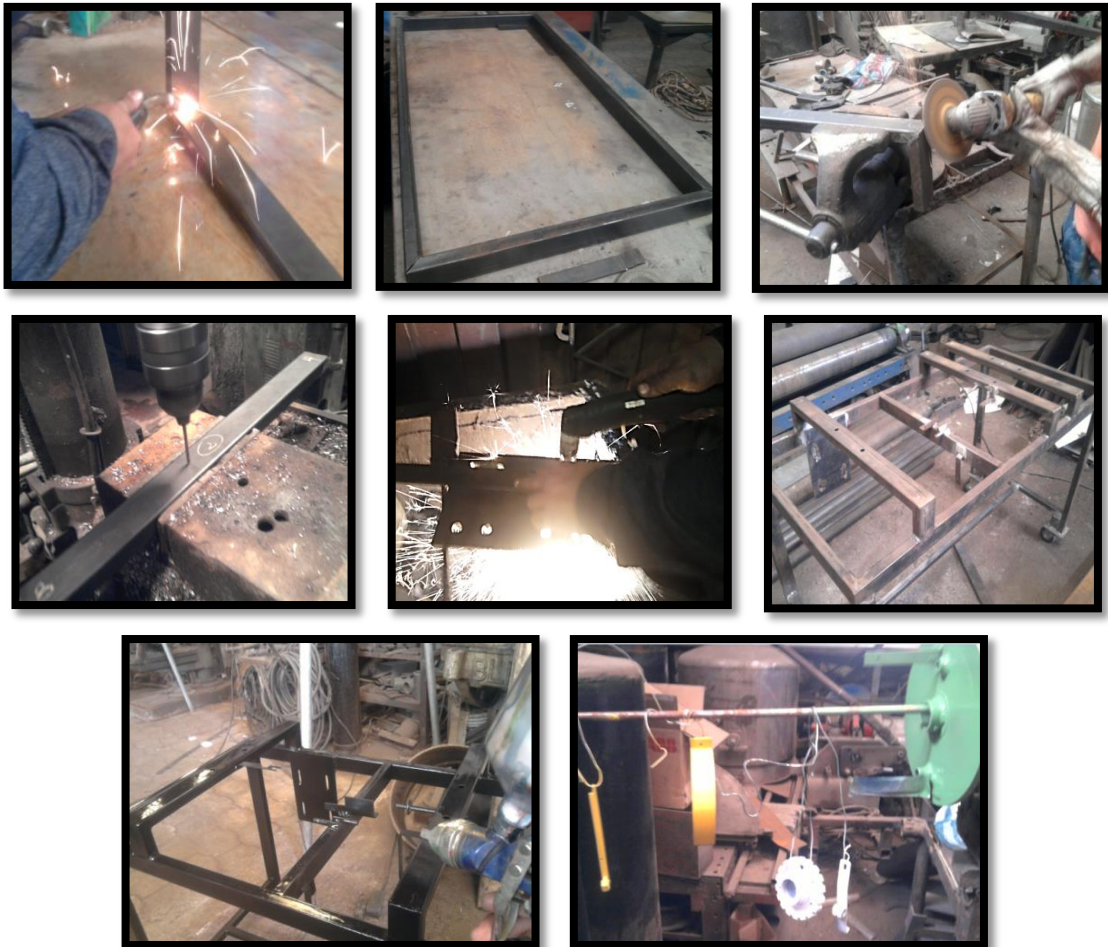
4.2.1.5 Construcción de la estructura de soporte. Para la estructura de soporte, empezamos cortando el tubo rectangular acorde a lo especificado en el plano.

Utilizando la soldadura MIG, unimos lo cortado así como también el soporte para el motor que se construyó manipulando la cortadora de plasma.

Con el taladro de pedestal se hicieron los agujeros en donde se asentarán las chumaceras. Mediante una amoladora se pulió las partes soldadas para dar una mejor apariencia.

Por último se pintaron todos los elementos contruidos para dar un mejor acabado al trabajo realizado.

Figura 83. Construcción de la estructura de soporte



Fuente: Autores

4.2.1.6 Construcción del tablero de mandos. El tablero fue construido de plywood y será montado en la parte frontal de la estructura de soporte. Aquí se montaran los mandos de control eléctrico y electrónico.

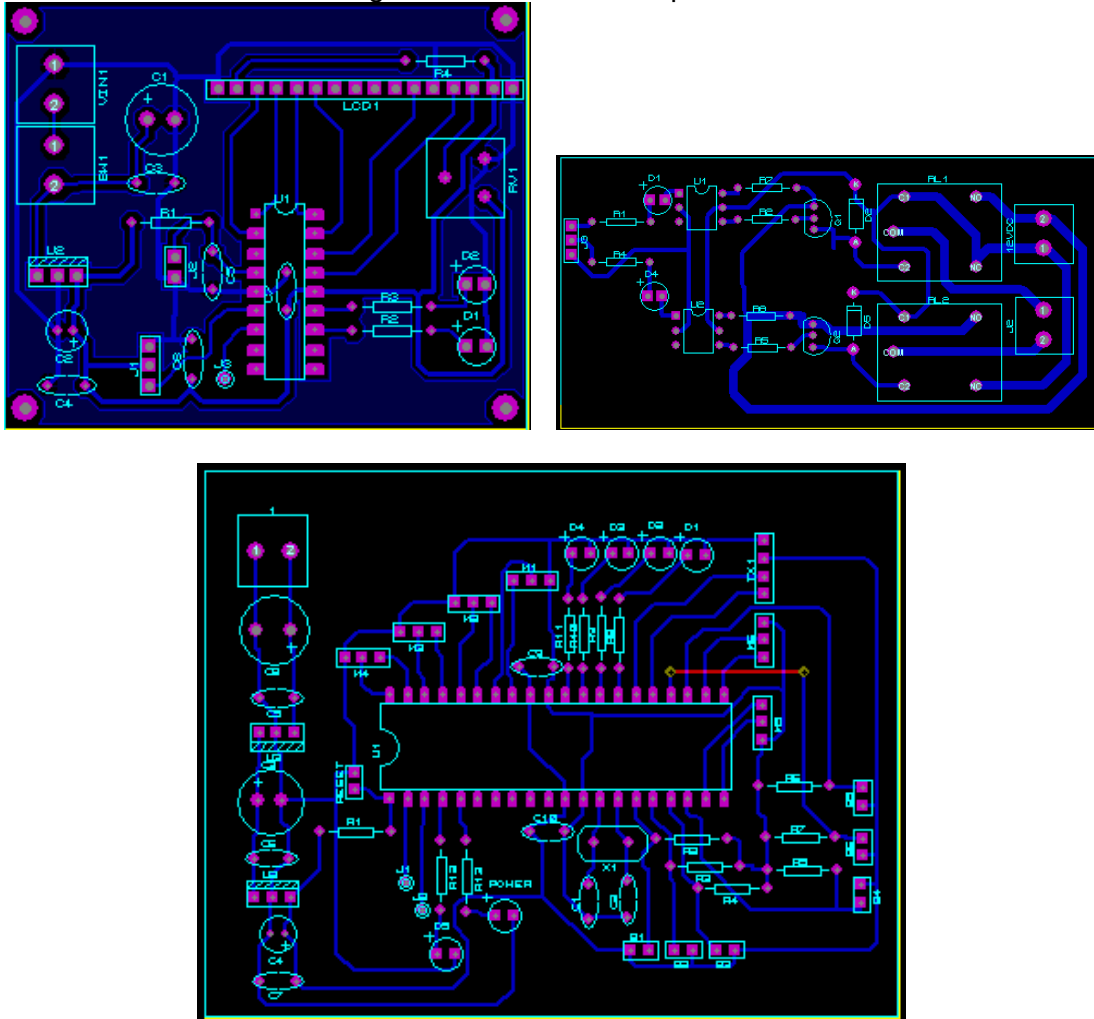
Figura 84. Construcción del tablero de mandos



Fuente: Autores

4.2.2 Construcción de elementos electrónicos. Una vez hecho el diseño del circuito, se utilizó la herramienta ARES del software PROTEUS para visualizar la placa a ser quemada. En el primer detalle de la Figura 94 se puede apreciar la placa de los tacómetros digitales, en el segundo detalle se encuentran las placas de los puentes H y en el último detalle se puede ver la placa del circuito de control.

Figura 85. Diseño de las placas



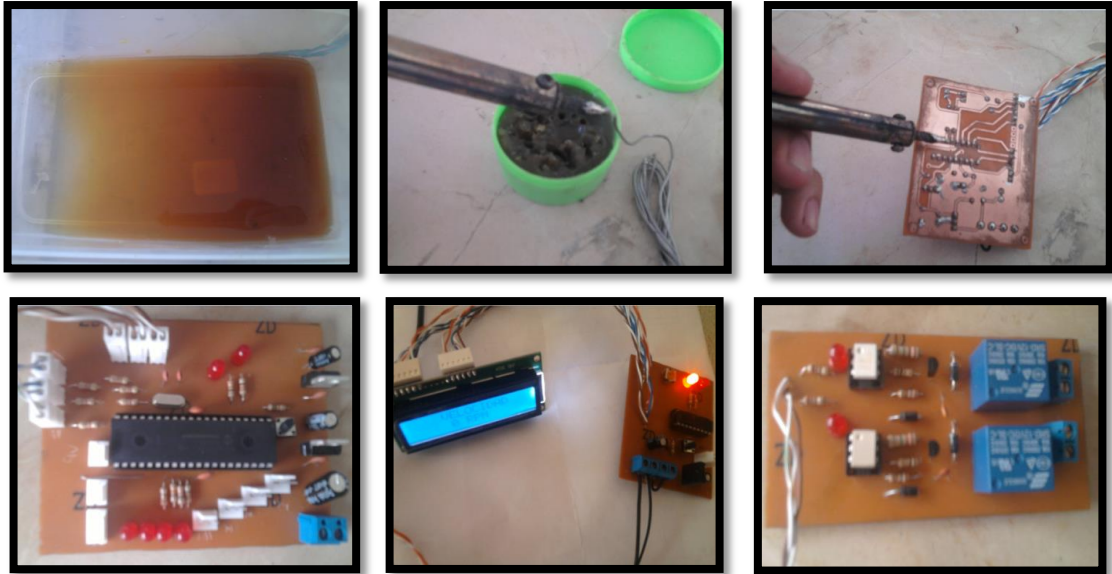
Fuente: Autores

Para el quemado de las placas, se procedió a impregnar el diseño con una impresión en acetato y con el marcador indeleble en los lugares que hacía falta, en las placas correspondientes a los relés, tacómetro digital y circuito de control.

Luego cortamos la placa guiándonos en las marcas y taladramos los agujeros para los pines de los elementos necesarios para el funcionamiento del circuito, para luego introducir en cloruro férrico. Una vez hecho este proceso para todas las placas, se realizó la soldadura utilizando el soldador de estaño.

Las placas electrónicas construidas son: del tacómetro que nos permite visualizar las revoluciones a la entrada y a la salida, de los Puente H que nos permite el accionamiento de los actuadores lineales en los dos sentidos y del circuito de control.

Figura 86. Construcción de placas



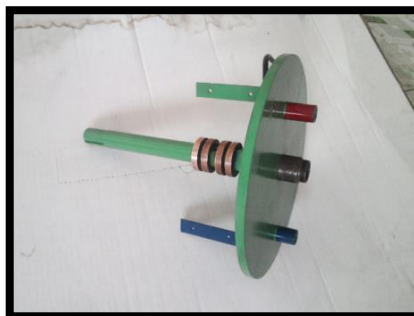
Fuente: Autores

4.3 Ensamblado del mecanismo y tablero de mandos

Para el proceso de ensamblado se siguió los pasos que se detallan a continuación:

- Montar la rueda de embragues en el extremo del eje impulsor y ajustar los prisioneros ubicados en la manzana de la rueda para evitar que esta se deslice.

Figura 87. Acople de la rueda de embragues al eje impulsor

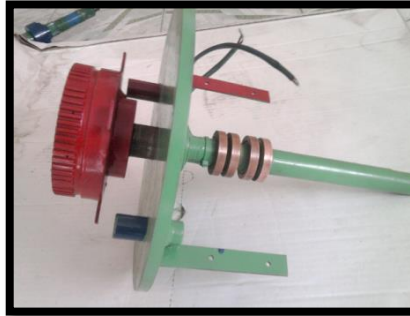


Fuente: Autores

- Acoplar la corona de entrada a continuación de la rueda de embragues, se debe ejercer fuerza para que ésta entre, ya que tiene un rodamiento que tiene un

ajuste para evitar su deslizamiento y para que tenga movimiento independiente al eje impulsor.

Figura 88. Montaje de la corona de entrada



Fuente: Autores

- Colocar la chumacera que sirve de apoyo del eje en la estructura. Luego montar la polea de mayor diámetro con la chaveta y ajustar los prisioneros.

Figura 89. Colocación de la chumacera y polea



Fuente: Autores

- En el eje transmisor se precede a armar el conjunto de engranajes, para lo cual, se debe poner primero el tambor que cubre los satélites posteriores y luego insertar la corona posterior la cual está fijada al eje, es decir, se mueven simultáneamente. Después colocar el aro de separación con una porción de grasa automotriz azul que se utilizará en el resto de engranajes (ver Figura 99).
- Colocar el portasátelites posterior, el cual gira de forma independiente al eje, y el aro de separación de cobre. Luego montar el piñón planetario (ver Figura 100).
- Ubicar el casco de impulsión del planetario, el aro de separación y el seguro que evita que el casco se mueva de su lugar (ver Figura 101).

Figura 90. Colocación del tambor cobertor de satélites y corona posterior



Fuente: Autores

Figura 91. Montaje del portasatélites y piñón planetario



Fuente: Autores

Figura 92. Montaje del casco de impulsión del planetario



Fuente: Autores

- Montar el segundo portasatélites, el cual se mueve simultáneamente con el eje. Luego poner el seguro al final del eje (ver Figura 102).

Figura 93. Montaje del segundo portasatélites



Fuente: Autores

- Girar el eje e introducir por el extremo la rueda de parqueo con su respectivo seguro.

Figura 94. Montaje de la rueda de parqueo



Fuente: Autores

- Colocar las chumaceras de soporte en el eje transmisor y luego unir los dos ejes para posteriormente montar todo el mecanismo en la estructura de soporte.

Figura 95. Unión de ejes



Fuente: Autores

- Luego de colocar el motor eléctrico y todo el mecanismo en la estructura de soporte, montar la banda en las poleas respectivas (ver Figura 105).

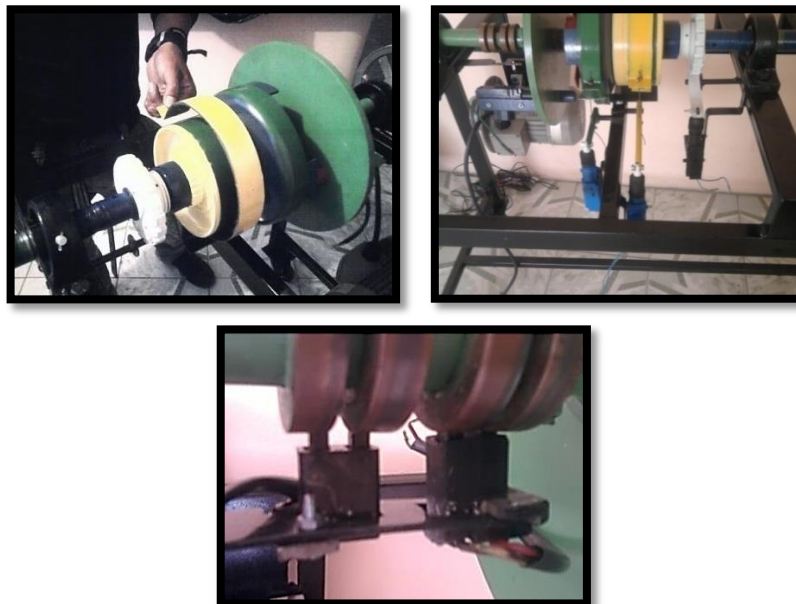
. Figura 96. Montaje de la banda



Fuente: Autores

- Armar el mecanismo de los frenos de cinta y colocar los actuadores lineales en sus respectivos alojamientos. Luego colocar las escobillas que transmiten la corriente hacia los actuadores que se encuentran montados en la rueda de embragues.

Figura 97. Armado del mecanismo de frenos de cinta, actuadores y escobillas



Fuente: Autores

- Colocar los soportes y los sensores magnéticos, de forma que se encuentren enfrentados a los imanes, para obtener un correcto funcionamiento (ver Figura 107).
- Luego de montar el tablero en la estructura de soporte, realizar las conexiones de los dispositivos eléctricos y electrónicos. Empezando por las conexiones

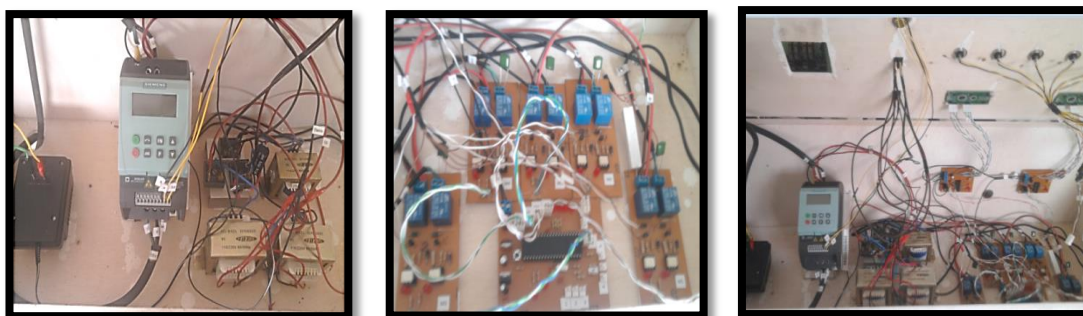
correspondientes al circuito de alimentación y luego los circuitos de control (ver Figura 108).

Figura 98. Colocación de sensores



Fuente: Autores

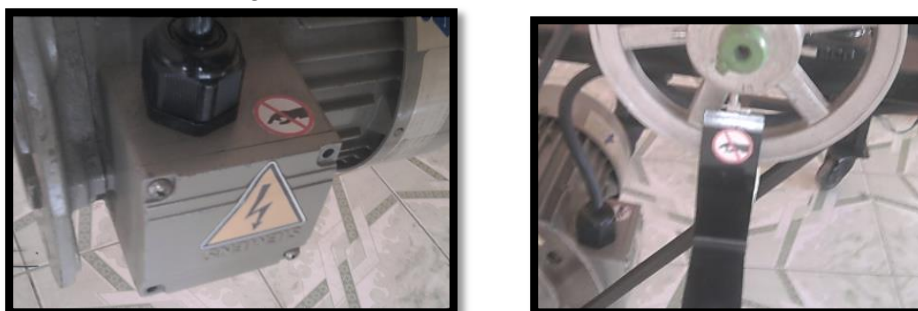
Figura 99. Conexión de dispositivos eléctricos y electrónicos



Fuente: Autores

- Una vez que haya armado todo, ubicar la señalética de seguridad en los puntos que así lo requieran.

Figura 100. Ubicación de la señalética



Fuente: Autores

En la Figura 110 se puede apreciar el banco didáctico armado en su totalidad.

Figura 101. Banco didáctico



Fuente: Autores

4.4 Peso del banco didáctico

Para encontrar el peso del banco didáctico, primero debemos calcular el peso de la estructura de soporte, mediante la siguiente fórmula:

$$P_{estructura} = P_{tubo} * L \quad (27)$$

Donde:

P_{tubo} = Peso del tubo en Kg/m

L = Longitud del material utilizado

$$P_{estructura} = 1,71 \frac{Kg}{m} * 11,38m = 19,46 Kg$$

$$P_{estructura} = 190,9 N$$

Luego se debe encontrar el peso de los elementos de la transmisión, sumando el peso de los ejes más, el peso del conjunto de engranajes, más el peso de la rueda de embragues y más el peso de la polea.

$$P_{transmisión} = P_{ejes} + P_{engranajes} + P_{rueda de embragues} + P_{polea} \quad (28)$$

$$P_{transmisión} = 7,1 Kg + 7,3 Kg + 5,9 Kg + 0,45 Kg = 20,75 Kg$$

$$P_{transmisión} = 203,56 N$$

También se debe calcular el peso total de los otros elementos como: motor eléctrico, ruedas, tablero, chumaceras, dispositivos eléctricos y electrónicos.

$$P_{otros} = P_{motor} + P_{tablero} + P_{ruedas} + P_{chumaceras} + P_{dispositivos} \quad (29)$$

$$P_{otros} = 8,1 \text{ Kg} + 3,17 \text{ Kg} + 1 \text{ Kg} + 4,75 \text{ Kg} + 5 \text{ Kg} = 22,12 \text{ Kg}$$

$$P_{otros} = 216,99 \text{ N}$$

Una vez que se tiene los pesos parciales, se procede a sumarlos para saber el peso total del banco didáctico, obteniéndose como resultado lo siguiente:

$$P_{\text{banco didáctico}} = P_{\text{estructura}} + P_{\text{transmisión}} + P_{\text{otros}} \quad (30)$$

$$P_{\text{banco didáctico}} = 19,46 \text{ Kg} + 20,75 \text{ Kg} + 22,12 \text{ Kg} = 59,83 \text{ Kg}$$

$$P_{\text{banco didáctico}} = 611,45 \text{ N}$$

CAPÍTULO V

5. FUNCIONAMIENTO Y PRUEBAS DEL BANCO DIDÁCTICO

5.1 Descripción del tablero de mandos

En la Figura 111 se muestra el tablero de mandos con el que cuenta el banco didáctico, a continuación se detallará cada uno de los elementos de mando:

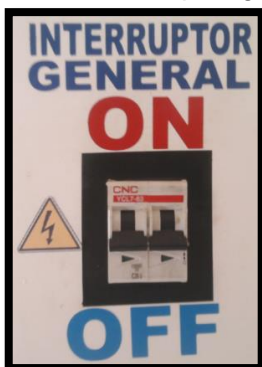
Figura 102. Tablero de mandos



Fuente: Autores

5.1.1 Interruptor general. Este interruptor es el encargado de permitir o interrumpir el paso de energía desde la red de electricidad hacia el resto de elementos internos del tablero, como los relés, pantallas y variador de frecuencia.

Figura 103. Interruptor general



Fuente: Autores

5.1.2 Variador de frecuencia. El variador de frecuencia se lo utiliza en el banco didáctico, para variar la velocidad angular del motor eléctrico. Está energizado con 220 VCA que provienen del interruptor general y que luego los pasa hacia el motor trifásico.

Figura 104. Variador de frecuencia



Fuente: Autores

5.1.3 Interruptor de relés. Es el encargado de permitir o interrumpir el paso de energía proveniente de los transformadores de voltaje hacia las placas de los relés, que son los encargados de activar los actuadores lineales, tanto en el avance como en el retroceso. Los transformadores son los encargados de transformar los 220 VCA a 12 VCD para que los actuadores lineales puedan funcionar.

Figura 105. Interruptor de relés



Fuente: Autores

5.1.4 Interruptor de LCD. Es el encargado de energizar a las placas de los LCD y circuito de control. Estos son alimentados con 9 VCD que provienen desde el transformador de voltaje, que es de uso exclusivo para el circuito correspondiente al tacómetro digital.

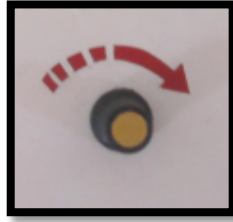
Figura 106. Interruptor de LCD



Fuente: Autores

5.1.5 Potenciómetro. Este potenciómetro nos permite variar la velocidad del motor, es decir, cumple la función del acelerador del motor eléctrico.

Figura 107. Potenciómetro



Fuente: Autores

5.1.6 Botones de selección de modo de funcionamiento. Estos botones nos permiten escoger el modo de funcionamiento al que se desee acceder. En la Figura 117 se muestran la designación de los botones para cada modo.

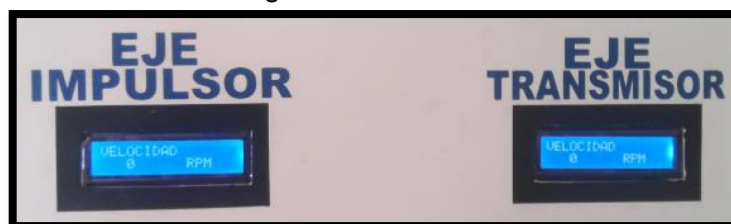
Figura 108. Pulsadores



Fuente: Autores

5.1.7 Pantallas. Las pantallas nos permiten visualizar la velocidad del eje impulsor y la velocidad del eje transmisor, es decir, muestran las revoluciones por minuto que tienen cada eje.

Figura 109. Pantallas



Fuente: Autores

5.2 Modos de funcionamiento

Conocidos ya todos los elementos del tablero de mando, detallaremos a continuación los modos de funcionamiento.

5.2.1 *Parqueo.* Al oprimir el pulsador de parqueo, el microcontrolador activa una salida permitiendo que el actuador lineal encargado de mover el mecanismo de parqueo se energice; con esto se evita que el eje transmisor gire en cualquier sentido. Simulando de esta forma el funcionamiento del mecanismo de parqueo de una transmisión automática.

5.2.2 *Neutro.* Este modo de funcionamiento nos permite parar las simulaciones que se estén ejecutando en cualquier momento durante 2 segundos. Cabe señalar que para pasar de un modo de funcionamiento a otro primero se debe presionar neutro para que los actuadores regresen a su posición inicial. Cuando estén accionadas las secuencias automáticas, se debe presionar el pulsador durante dos segundos para que se pueda activar el neutro.

5.2.3 *Reversa.* Al momento de accionar reversa, se energizan los actuadores lineales correspondientes al embrague 2 (casco impulsor del piñón planetario) y el freno 2 (tambor del segundo portasatélites), con lo que se consigue que el eje transmisor gire en sentido contrario.

5.2.4 *Primera.* En el modo de funcionamiento de primera marcha se obtiene la relación de transmisión más baja y solamente se tiene una sola marcha. Se accionan, el embrague 1 (corona de entrada) y el freno 2. Esta posición se utiliza para cuando se requiere mayor potencia en la conducción.

5.2.5 *Segunda.* En este modo de funcionamiento, se tiene dos marchas automáticas, es decir; la marcha correspondiente a primera se puede cambiar de forma automática hacia segunda y viceversa. Para el accionamiento de segunda marcha se retira el freno 2 y se aplica el freno 1 (casco impulsor del planetario). En esta simulación se activa la primera relación durante el tiempo que dure la condición de velocidad y luego pasará de forma automática a segunda. En donde se puede apreciar de forma clara el movimiento que realizan los elementos durante el cambio de marcha.

5.2.6 *Automático.* Al presionar el pulsador correspondiente a marcha automática, se obtienen 3 cambios totalmente automático, es decir; primera, segunda y tercera o directa. Al igual que el modo anterior los cambios se producen durante el tiempo que dure la condición de velocidad. Para accionar la relación de transmisión directa, se activan los embragues 1 y 2 y se desactivan los frenos, transmitiéndose de forma directa el movimiento del eje impulsor hacia el eje transmisor.

5.3 Guía práctica de operaciones y pruebas del banco didáctico

5.3.1 *Guía práctica de operaciones.* Para obtener un correcto funcionamiento del banco, se debe seguir con atención los pasos de la guía práctica de operaciones:

- Primero se debe tener una red eléctrica de 220 VCA, para alimentar los elementos eléctricos que conforman el banco didáctico. A demás se debe colocar la estructura en un lugar que nos proporcione condiciones de trabajo ideales.
- Cerciorarse de que todos los interruptores se encuentren en la posición de apagado (OFF), para luego proceder a conectar en enchufe en el tomacorriente.
- Ubicar el interruptor general en la posición de encendido (ON), luego el interruptor de los LCD y por último el interruptor de los relés.
- Presionar, en el variador de frecuencia, el botón verde para que el motor empiece a girar. Con el potenciómetro se puede subir o bajar la velocidad del motor, pero se lo debe hacer de forma pausada con mucha cautela.

Figura 110. Activación del variador



Fuente: Autores

- Presionar el pulsador que se desee, para que la simulación de funcionamiento inicie. Aquí se debe tener en cuenta, que para pasar de una simulación a otra; primero se tiene que detener la que esta activada en ese momento, esto se logra presionando el pulsador de neutro (N). Se debe esperar 2 segundos para iniciar otro modo de funcionamiento. A continuación se muestra las secuencias que se pueden realizar:

$P \rightarrow N$

$R \rightarrow N$

$1 \rightarrow N$

$2 \rightarrow N$

$1 \rightarrow 2 \rightarrow A \rightarrow N$

$2 \rightarrow A \rightarrow N$

$A \rightarrow N$

Esto quiere decir, que por ejemplo, no se puede pasar de primera a reversa sin pasar por neutro. Luego de cada secuencia se debe dejar descansar el banco por un tiempo prudente, poniendo en la posición neutral, para los actuadores reposen antes de realizar otra secuencia.

- Luego de haber revisado todas las simulaciones, parar todo pulsando durante 2 segundos el pulsador de neutro. Posteriormente poner el potenciómetro en posición inicial y presionar el botón rojo del variador de frecuencia para detener el motor eléctrico trifásico.
- Ubicar el interruptor de los LCD, de los relés y por último el interruptor general en la posición de apagado (OFF), para luego proceder a desconectar de la red eléctrica.

5.3.1.1 Recomendaciones de uso. No utilizar el banco didáctico en los diferentes modos de funcionamiento más de un minuto; ya que los actuadores lineales tienden a calentarse. Esto puede provocar que los pequeños motores que tienen incorporados se quemen. Es por ello que se recomienda realizar las prácticas lo más concentrado posible y evitar demoras en la misma.

Tomar en cuenta las secuencias que se pueden realizar, ya que al no hacerlo se podrían producir graves inconvenientes.

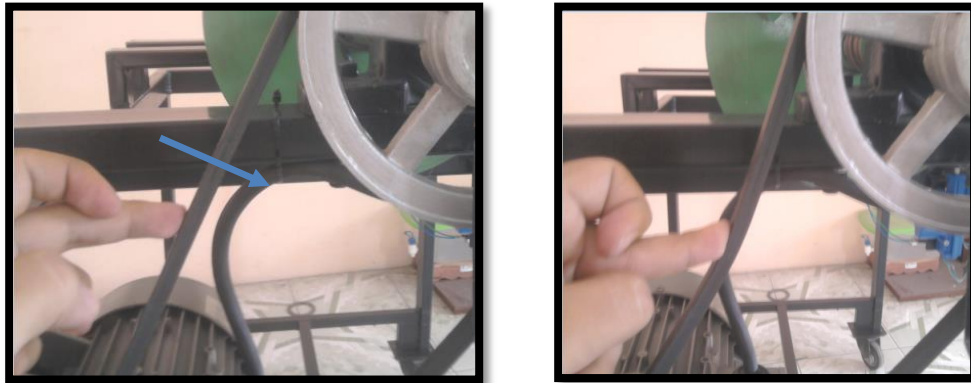
Respetar la señalética de seguridad ubicada alrededor del banco didáctico, la cual tiene como misión alertar sobre los riesgos al momento de manipular el banco.

Luego de realizar la práctica, ubicar el banco didáctico en un lugar con la suficiente protección para evitar que se deterioren los elementos eléctricos y electrónicos.

5.3.2 Pruebas mecánicas. Es necesario realizar una inspección en algunos puntos correspondientes a la parte mecánica del banco.

5.3.2.1 Tensado de la banda. Se debe ubicar el motor eléctrico, en una posición que evite que la banda quede demasiado tensada o demasiado floja. Para evitar posibles inconvenientes que se puedan presentar durante el funcionamiento.

Figura 111. Comprobación de tensado



Fuente: Autores

5.3.2.2 Pernos y prisioneros. Se comprueba que todos los elementos estén sujetos firmemente, mediante la correcta ubicación y apriete tanto como de los pernos así como los prisioneros.

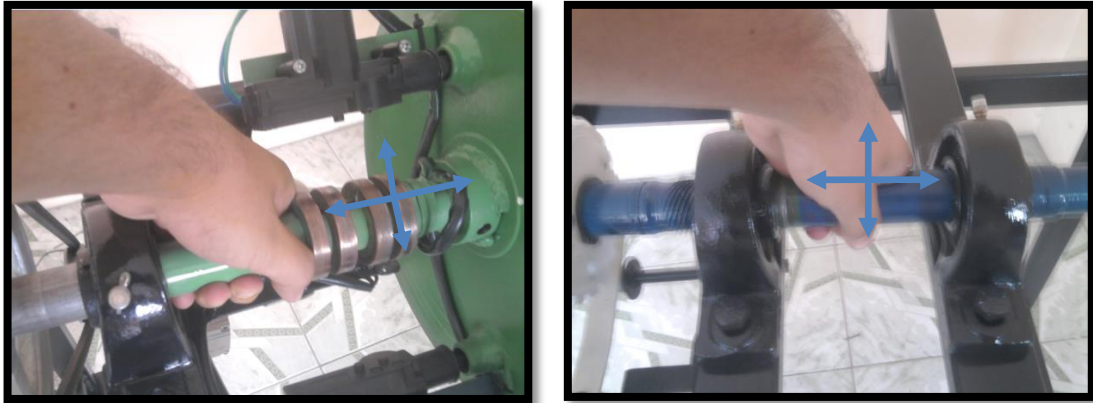
Tabla 10. Pares de apriete

Elemento	Par de apriete (N-m)
Pernos de sujeción de las chumaceras	35 – 50
Pernos de sujeción del motor eléctrico	25 – 35
Pernos de sujeción del tablero	20 – 30
Pernos de sujeción de mecanismo de frenos	12 – 15
Tornillos de sujeción de los actuadores lineales	4 – 6
Prisioneros de las poleas y rueda de embragues	8 – 15
Prisioneros de las chumaceras	6 – 10
Prisioneros de cables tensores de frenos	5 – 8

Fuente: Autores

5.3.2.3 Ejes. Se verifica que no exista juego en las chumaceras y los ejes, aplicando fuerzas axiales y radiales. Por ningún motivo estos se deben desplazar, ya que al poner en movimiento el motor, se pueden presentar graves inconvenientes (ver Figura 121).

Figura 112. Verificación de juegos



Fuente: Autores

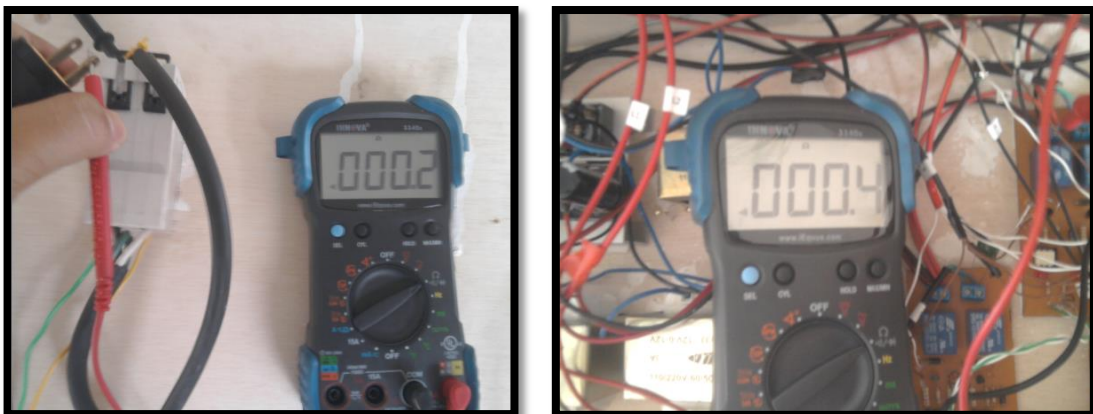
5.3.2.4 Sistema de engranajes. Se da movimiento manual al sistema de engranajes para verificar la correcta rotación del sistema, no deben existir ruidos extraños ni ningún tipo de trabas en el conjunto de engranajes.

5.3.3 Pruebas eléctricas y electrónicas. Estas pruebas constan en el control de continuidad y alimentación de los diferentes dispositivos.

5.3.3.1 Pruebas de continuidad. Estas pruebas se realizan con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento de los pulsadores, interruptores y de los conductores. Las mismas se deben realizar sin alimentación de energía.

- Se verifica que los cables de alimentación tengan continuidad, esto se lo realiza con la ayuda de un multímetro configurado para medir continuidad.

Figura 113. Pruebas del cableado

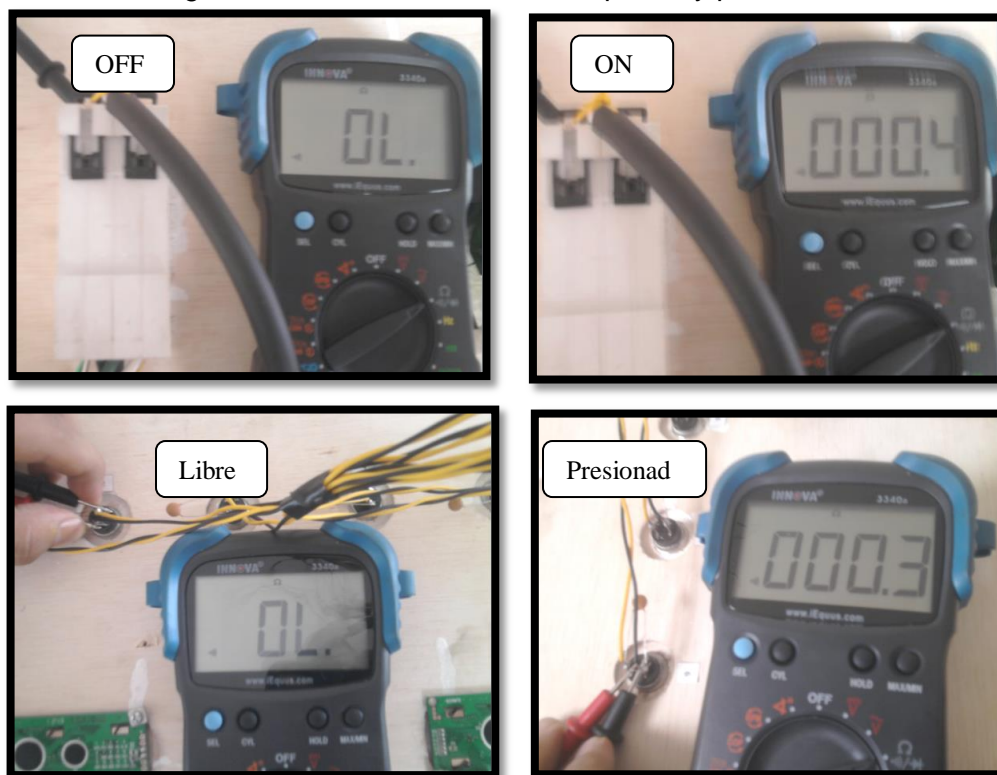


Fuente: Autores

- En los interruptores se ubican los terminales del multímetro, para verificar que marque continuidad únicamente en la posición de ON. Mientras que en los

pulsadores debe marcar cuando estos son presionados, ya que son normalmente abiertos.

Figura 114. Continuidad en interruptores y pulsadores



Fuente: Autores

- En los sensores magnéticos, se debe comprobar la continuidad en los cables únicamente cuando estos se encuentran enfrentados a los imanes, ya que estos activan el interruptor interno que estos poseen.

Figura 115. Prueba del sensor del eje impulsor



Fuente: Autores

Figura 116. Prueba del sensor del eje transmisor



Fuente: Autores

- En las escobillas se debe verificar que exista continuidad únicamente hacia los anillos de cobre y no hacia el eje impulsor.

Figura 117. Verificación de carbones



Fuente: Autores

5.3.3.2 Pruebas de alimentación y funcionamiento. Estas pruebas nos sirven para comprobar que los elementos eléctricos y electrónicos están alimentados con el voltaje correcto.

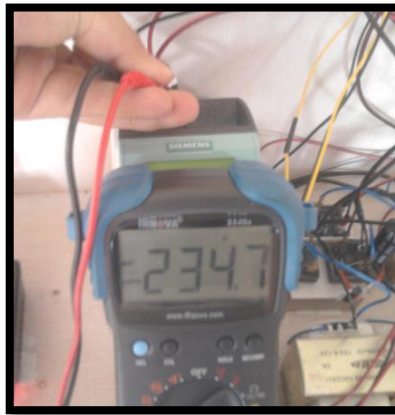
- El banco didáctico debe estar alimentado con 220 VCA por medio del único enchufe que sale de él. Se debe ubicar los terminales del multímetro en la fuente con la escala de medida en voltaje de corriente alterna (ver Figura 127).
- Una vez activado el interruptor general, se debe comprobar que el variador de frecuencia se active, corroborando con el multímetro que a la entrada este, exista el voltaje necesario para el correcto control del motor eléctrico (ver Figura 128).

Figura 118. Prueba de alimentación



Fuente: Autores

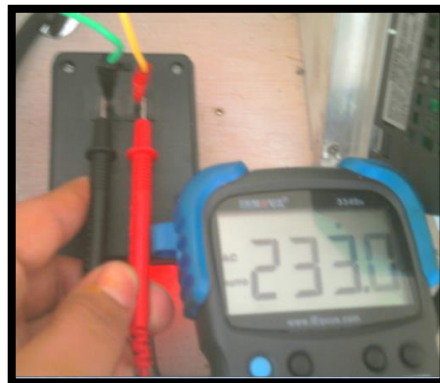
Figura 119. Alimentación del variador



Fuente: Autores

- En la entrada de los transformadores, se tiene que verificar que el voltaje que ingrese sea el correcto.

Figura 120. Alimentación de transformadores



Fuente: Autores

- A la salida de los transformadores encargados de alimentar a los actuadores lineales debe existir 12 VCD, mientras que el transformador encargado de

alimentar a las placas de control debe haber 9 VCD. Para esto se debe utilizar el multímetro en la escala de medición de voltaje de corriente directa.

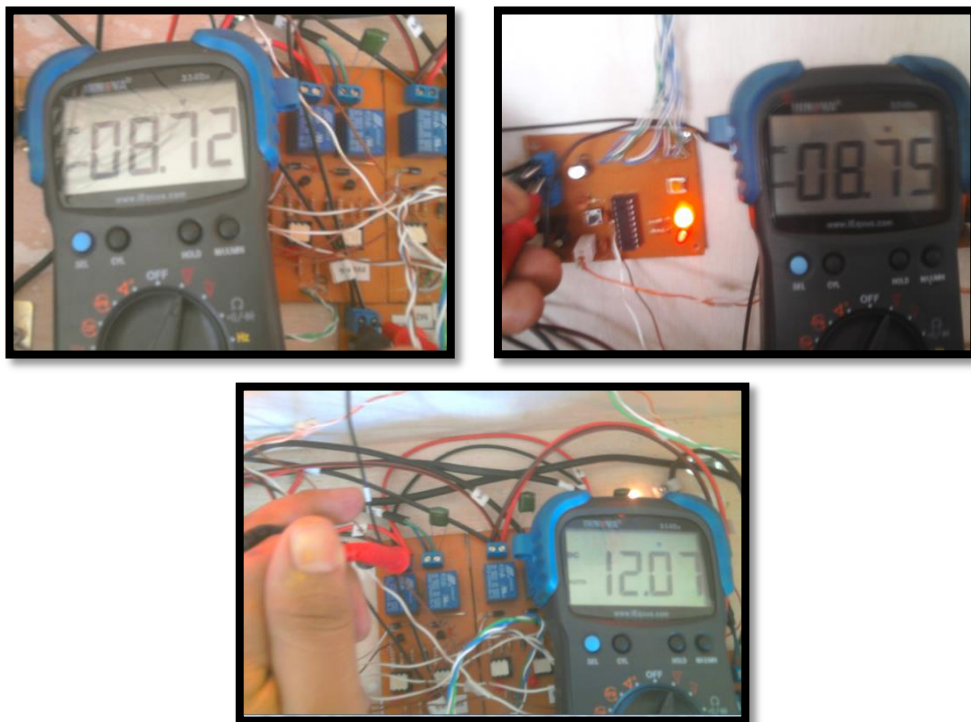
Figura 121. Voltaje de salida de transformadores



Fuente: Autores

- Se debe corroborar el voltaje, que reciben las placas tanto las de control como las que corresponden a la activación de los actuadores lineales luego de ubicar los interruptores en la posición de ON, sea el correcto. Colocando los terminales del multímetro en las borneras de alimentación. Y verificar que los LDC se enciendan sin ningún problema.

Figura 122. Alimentación de placas



Fuente: Autores

- Mover el potenciómetro y observar que el valor de frecuencia varié en la pantalla del variador. Luego presionar el botón de accionamiento del variador de frecuencia, para ratificar que el motor gire a las revoluciones que se programaron.
- Seleccionar un modo de funcionamiento, para ratificar que los actuadores lineales se activen de acuerdo a lo programado. Además verificando de esta forma que los sensores magnéticos están enviando la información adecuadamente.

5.4 Resultados obtenidos

5.4.1 Resultados de las pruebas mecánicas. Luego de haber realizado las respectivas inspecciones de los diferentes puntos correspondientes a la parte mecánica, se obtuvieron resultados positivos, los cuales se detallan en la Tabla 11.

Tabla 11. Resultados de las pruebas mecánicas

Inspección	Observaciones	Estado
Tensión de la banda	La banda presenta un tensado para su normal funcionamiento.	Correcto
Apriete de pernos	Todos están dentro del rango establecido para cada uno de ellos.	Correcto
Ejes	No existe ningún tipo de juego entre los ejes y las chumaceras.	Correcto
Sistema de engranajes	Todo el conjunto gira libremente sin ningún tipo de esfuerzo o ruido extraño.	Correcto

Fuente: Autores

Esto es un indicativo, de que si se sigue el procedimiento de ensamblaje de manera precisa y correcta, no se presentarán ningún tipo de inconvenientes. Por lo que el mecanismo funcionará en óptimas condiciones.

5.4.2 Resultados de las pruebas eléctricas y electrónicas. En la Tabla 12 se puede apreciar los resultados obtenidos al momento de realizar las pruebas de continuidad en los diferentes puntos de control, los cuales son positivos en su totalidad.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos en las pruebas de alimentación de los diferentes circuitos que conforman el banco didáctico.

Tabla 12. Resultados de las pruebas de continuidad

Elemento		Valor ideal	Valor medido	Estado
Cableado de alimentación		< 1	0,3	Correcto
Interruptores	Posición OFF	Aislado	Aislado	Correcto
	Posición ON	≤ 1	0,4	Correcto
Pulsadores	Posición OFF	Aislado	Aislado	Correcto
	Posición ON	≤ 1	0,3	Correcto
Sensores magnéticos	No enfrentado al imán	Aislado	Aislado	Correcto
	Enfrentado al imán	< 1	0,4	Correcto
Carbones		≤ 2	0,8	Correcto

Fuente: Autores

Tabla 13. Resultados de las pruebas de alimentación

Elemento	Valor ideal	Valor medido	Estado
Alimentación general	220 VCA	234,8 VCA	Aceptable
Alimentación del variador de frecuencia	220 VCA	234,7 VCA	Aceptable
Alimentación de los transformadores	220 VCA	233 VCA	Aceptable
Voltaje de salida de los transformadores para alimentación de los actuadores	12 VCD	12,10 VCD	Aceptable
Voltaje de salida del transformador para alimentación de las placas de control	9 VCD	8,76 VCD	Aceptable
Alimentación de las placas de los tacómetros	9 VCD	8,75 VCD	Aceptable
Alimentación de la placa del circuito de control	9 VCD	8,72 VCD	Aceptable
Alimentación de las placas de los puentes H	12 VCD	12,07 VCD	Aceptable

Fuente: Autores

5.4.3 Datos obtenidos durante el funcionamiento. Luego de realizar las pruebas anteriores, se procedió a revisar que todos los elementos se enciendan correctamente y que al mover el potenciómetro modifique la lectura del variador de frecuencia, obteniéndose resultados positivos.

A continuación, en la Tabla 14 se muestran algunos datos recogidos durante el funcionamiento del banco didáctico en los diferentes modos de funcionamiento.

Tabla 14. Datos obtenidos durante el funcionamiento

Posición	Lectura del variador	RPM Eje impulsor		RPM Eje transmisor	
		Valor ideal	Valor mostrado	Valor ideal	Valor mostrado
Neutro	2,5	29,64	30	0	0
Primera	3,6	42,69	43	17,42	18
Segunda	6,8	85,37	85	58,88	60
Tercera	11,4	135,17	135	135,17	135
Reversa	2,9	34,38	35	15,56	15

Fuente: Autores

5.5 Plan de mantenimiento

Tabla 15. Plan de mantenimiento preventivo

	Trabajo	Período por número de practicas			
		5	12	25	75
Elementos mecánicos					
Estructura	Limpiar/Examinar estado de pintura	x		x	
Ruedas	Limpiar/Engrasar		x	x	
Chumaceras	Inspeccionar/Limpiar/Engrasar		x	x	x
Conjunto de engranajes	Inspeccionar ruidos/Engrasar			x	x
Pernos y prisioneros	Inspeccionar apriete	x		x	
Ejes	Inspeccionar que no exista juego	x			
Banda de transmisión	Inspeccionar tensado	x		x	
Poleas	Inspeccionar alineación		x		x
Tambores	Inspeccionar/Limpiar	x		x	x
Frenos de cinta	Limpiar/ Examinar mecanismo	x		x	
Ejes de embragues	Inspeccionar/Limpiar	x		x	x
Elementos eléctricos y electrónicos					
Conexiones	Inspeccionar	x		x	x
Cableado	Controlar continuidad	x		x	x
Variador de frecuencia	Inspeccionar/Limpiar		x		x
Transformadores	Inspeccionar /Verificar voltajes			x	x
Placas de tacómetros	Limpiar/Verificar alimentación		x		x
Placa de control	Limpiar/Verificar alimentación		x		x
Placas de puentes H	Limpiar/Verificar alimentación		x		x
Micro controladores	Inspeccionar/Limpiar			x	x
Relés	Inspeccionar/Limpiar				x
Pantallas	Inspeccionar/Limpiar	x		x	x
Interruptores	Inspeccionar	x		x	x
Pulsadores	Inspeccionar/Controlar continuidad	x		x	x
Potenciómetro	Inspeccionar		x		x
Carbones del eje impulsor	Inspeccionar/Controlar desgaste			x	x
Actuadores lineales	Inspeccionar/Limpiar	x		x	x
Sensores	Limpiar/Controlar continuidad	x		x	
Motor eléctrico trifásico					
Carcasa	Inspeccionar	x	x		x
Bobinas del estator	Limpieza/Controlar resistencia				x
Bobinas del rotor	Limpieza/Controlar resistencia				x
Soportes	Inspeccionar	x		x	
Caja de conexiones	Inspeccionar/Limpiar			x	
Carbones del eje impulsor	Examinar/Controlar desgaste				x

Fuente: Autores

En la Tabla 15 se detalla el mantenimiento preventivo que deben hacerse al banco didáctico, este se lo realizará en base al número de prácticas realizadas en el mismo. Se deberá seguir a cabalidad los trabajos a realizarse en cada punto del banco para prolongar la vida útil del mismo.

En cuanto al mantenimiento correctivo, una vez encontrado el desperfecto en el elemento se debe hacer el desmontaje y repararlo; esto se realizará siempre y cuando este lo permita caso contrario sustituirlo.

CAPÍTULO VI

6. ANÁLISIS DE COSTOS

6.1 Costos directos

Estos costos son los que intervienen directamente en la construcción de la parte del sistema y su ensamblaje.

6.1.1 Costo de materiales. Dentro de estos costos intervienen los costos de los materiales de la parte mecánica, eléctrica y electrónica; estos costos se detallan a continuación:

Tabla 16. Costo de materiales de la parte mecánica

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Transmisión automática 30RH	u	1	420,00	420,00
Acero de transmisión SAE 1040 diám. 1 1/2 plg.	cm	37	1,20	44,40
Acero de transmisión SAE 1040 diámetro 5/8 plg.	cm	10	0,48	4,80
Plancha de acero 33x33x1,2	cm	1	35,00	35,00
Plancha de acero 18,5x18,5x0,3	cm	1	4,90	4,90
Plancha de acero 16x22x0,7	cm	1	7,80	7,80
Pintura multicolores	lt	2,5	8,00	20,00
Cobre Electrol. Etp. Red. Diámetro 2 pulgadas	cm	4	9,70	38,80
Celeron volcatex diámetro 1 1/2 pulgadas	cm	4	1,56	6,24
Chumaceras de piso KDF UCP 207	u	2	21,30	42,60
Chumacera de piso KDF UCP 206	u	1	19,65	19,65
Rodamiento de esferas NTN 6006LLUC3. Ø 30 mm	u	1	7,00	7,00
Rodamiento de canastilla NTN K16x22x15,8X	u	1	8,00	8,00
Tubos rectangulares 50x25x1,5 mm	6m	2	19,55	39,10
Ruedas 80	u	4	2,50	10,00
Tubo cuadrado 25x25x1,5 mm	6m	1	17,50	17,50
Polea 7x1 pulgadas	u	1	9,20	9,20
Polea 3x1 pulgadas	u	1	3,70	3,70
Banda A 42	u	1	4,00	4,00
Pernos de acero de 1/2 x 2 1/2 pulgadas	u	6	0,95	5,70
Pernos de acero de 5/16 x 2 1/2 pulgadas	u	4	0,55	2,20
Prisioneros de 3/8 de pulgada	u	5	0,35	1,75
Juego de tornillos y tuercas	u	1	5,50	5,50
Plancha de plywood 8mm	u	0,5	30,00	15,00
Adecuación del tablero	u	1	10,00	10,00
Tarro de grasa sintética	u	1	6,50	6,50
Total				USD. 789,34

Fuente: Autores

Tabla 17. Costo de materiales de la parte eléctrica

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Motor eléctrico trifásico Siemens 1 hp	u	1	120,00	120,00
Variador de frecuencia Siemens G 110	u	1	350,00	350,00
Transformadores de voltaje 220 vac / 12-24 vdc	u	3	11,95	35,85
Transformador de voltaje 220 vac / 7-9-12 vdc	u	1	7,50	7,50
Transformador de voltaje 110 vac/220vac 1000 w	u	1	85,00	85,00
Puentes rectificadores	u	3	3,20	6,60
Actuadores lineales	u	5	15,00	75,00
Escobillas	u	4	3,50	14,00
Breaker 2P / 20 A	u	1	7,20	7,20
Cable 2x14	m	2,5	3,20	8,00
Cable 3x14	m	1,2	1,80	2,16
Enchufe 220v	u	1	1,95	1,95
Total				USD. 713,26

Fuente: Autores

Tabla 18. Costo de materiales de la parte electrónica

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total
PIC 16F628	u	2	8,00	6,00
LCD 2x16	u	2	12,00	4,00
PIC 16F877A	u	1	12,00	2,00
Plaquetas 10x10 cm	u	4	0,90	3,60
Marcador indeleble	u	2	2,50	5,00
Relés de 12v	u	10	0,95	9,50
Bornas x2	u	15	0,25	3,75
Diodos rectificadores	u	20	0,10	2,00
Fundas de cloruro férrico	u	4	2,50	0,00
Kit de resistencias, potenciómetro, transistores, interruptores, condensadores, diodos LED, zócalos, molex, estaño.	u	1	48,45	48,45
Kit de terminales	u	1	9,40	9,40
Sensores magnéticos	u	2	3,50	7,00
metros de cable de timbre	m	8	0,35	2,80
Pulsadores grandes normalmente abiertos	u	6	0,85	5,10
Total				USD. 158,60

Fuente: Autores

$$\text{Costo total de materiales} = \text{Costo}_{\text{mecánica}} + \text{Costo}_{\text{eléctrica}} + \text{Costo}_{\text{electrónica}} \quad (31)$$

$$\text{Costo total de materiales} = \text{USD. } (789,34 + 713,26 + 158,60)$$

$$\text{Costo total de materiales} = \text{USD. } 1661,20$$

6.1.2 Costo de mano de obra. Dentro del costo de mano de obra los maestros incluyen los costos por utilización de los equipos, es decir, torno, fresadora, máquinas de soldar, compresor, amoladoras, etc; estos costos se detallan a continuación:

Tabla 19. Costo de mano de obra

Descripción	Unidad	Cantidad	Costo/hora	Costo total
Tornero	h	8	20,00	160,00
Fresador	h	1	20,00	20,00
Soldador (proceso MIG)	h	8	17,00	136,00
Pintor	h	5	9,00	45,00
Cortador y perforador (estructura, corte con plasma)	h	5	10,00	50,00
Electrónico	h	8	18,00	144,00
Total				USD. 555,00

Fuente: Autores

6.1.3 Costo de transporte. Es aquel que se utilizó para transportar los materiales al lugar de construcción, así como también, para movilizar todo el banco didáctico hacia el taller de la Escuela de Ingeniería Automotriz.

Tabla 20. Costo de transporte

Descripción	Costo
Viajes cortos dentro de la ciudad	20,00
Viajes fuera de la ciudad	45,00
Flete Tumbaco-Riobamba	100,00
Total	USD. 165,00

Fuente: Autores

El total de costos directos es igual a la suma del costo de mano de obra más el costo de los materiales y más el costo de transporte.

$$\text{Costos directos} = \text{Costo}_{\text{materiales}} + \text{Costo}_{\text{mano de obra}} + \text{Costo}_{\text{transporte}} \quad (32)$$

$$\text{Costos directos} = \text{USD.} (1661,20 + 550,00 + 165,00)$$

$$\text{Costos directos} = \text{USD.} 2376,20$$

6.2 Costos indirectos

Estos costos son los que no intervienen directamente en la construcción de la parte del sistema y su ensamblaje, es decir, son aquellos costos cuya identificación con un

objeto de costo específico es muy difícil, o no vale la pena realizarla; estos costos se detallan a continuación:

Tabla 21. Costos indirectos

Descripción	Costo
Costo ingenieril	200,00
Imprevistos	100,00
Utilidad	0,00
Total	USD. 300,00

Fuente: Autores

6.3 Costo total

El costo total del proyecto es igual a la suma de los costos directos más los costos indirectos.

$$Costo\ total = Costo_{directo} + Costo_{indirecto} \quad (33)$$

$$Costo\ total = USD.(2376,20 + 300,00)$$

$$Costo\ total = USD.2676,20$$

Para la realización de este proyecto se tomó la decisión de adquirir una transmisión automática en lugar de construir el conjunto de engranajes, con lo cual, se pudo obtener un ahorro USD. 828,80; en relación a lo que en nuestro anteproyecto se tenía planificado gastar. A demás con esto garantizamos que el conjunto de engranajes tenga un correcto funcionamiento.

CAPÍTULO VII

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Los convertidores hidráulicos de par constituyen un elemento indispensable dentro de las transmisiones automáticas, ya que nos permiten transmitir el par proporcionado por el motor hacia la caja de planetarios, variando de forma automática su par de salida; basando su funcionamiento en la transformación de energía mecánica en energía hidráulica y viceversa.

La combinación de trenes epicicloidales nos permiten obtener tanto desmultiplicaciones grandes como más pequeñas hacia lento o hacia rápido, además con la utilización de estos podemos transmitir pares más elevados, debido al reparto de par que se da en distintos puntos a través de los satélites.

La herramienta AutoFEM Análisis del software AutoCAD, nos permitió realizar el análisis de los elementos diseñados mediante el Método de Elementos Finitos, mostrándonos resultados confiables, asegurándonos que los elementos cumplirán con éxito su función.

La utilización del programa MicroCode Studio Plus - PIC BASIC PRO, nos facilitó la programación y grabación de los microcontroladores de los circuitos electrónicos de control del banco didáctico, además el software PROTEUS (con sus herramientas ISIS y ARES) permitieron el diseño de los circuitos y la creación de las placas electrónicas.

Después de construir y ensamblar los elementos diseñados, se realizaron las pruebas de funcionamiento del banco didáctico; las mismas que nos arrojaron resultados positivos, comprobando de esta forma que lo construido cumple con los parámetros de diseño.

Se realizó una guía práctica de operaciones y un plan de mantenimiento preventivo con el fin de evitar futuros inconvenientes que puedan presentarse debido a la mala utilización del banco didáctico. También se elaboraron guías de laboratorio para optimizar el uso del equipo durante las prácticas.

El banco didáctico permitirá al estudiante tener una clara visión del funcionamiento de las transmisiones automáticas de tren epicicloidal, con lo que se fortalecerá los conocimientos adquiridos en las aulas.

7.2 Recomendaciones

Utilizar programas basados en el método de elementos finitos, para realizar el análisis de los elementos diseñados que se requieran construir, ya que estos nos permiten tener una clara visión de los esfuerzos soportados en condiciones reales.

Usar sensores magnéticos en lugar de los ópticos, para la construcción de tacómetros digitales de elementos que giran a bajas revoluciones; ya que estos últimos son más susceptibles a los ruidos eléctricos provocados por el sistema que utiliza cableado de alta tensión, con lo que nos arrojan lecturas erróneas.

Implementar filtros de señal, como condensadores, en los circuitos de control para evitar que el ruido eléctrico altere las lecturas y se vea involucrado el buen funcionamiento de los mismos.

Tomar en cuenta, en el caso de que se requiera construir engranajes para sistemas de transmisión, que en nuestro medio no existen lugares en donde se realicen tratamientos térmicos que nos garanticen en un cien por ciento la correcta funcionalidad del elemento.

Realizar el maquinado de las piezas a construirse en lugares en donde cuenten con mano de obra calificada que nos garanticen precisión en sus trabajos; ya que en elementos críticos, como ejes, es importante mantener la concentricidad.

Usar un sistema neumático automatizado mediante la utilización de controladores lógicos programables PLC, en el caso de que se quiera realizar una mejora o un avance al presente proyecto.

Realizar un estudio más profundo del sistema hidráulico de las transmisiones automáticas, centrado en el cerebro hidráulico que es en donde se dan las diversas líneas de presión necesarias para la activación de los embragues, frenos de cinta y acumuladores.

BIBLIOGRAFÍA

ALONSO PÉREZ, José Manuel. 2003. *Electromecánica de Vehículos. Sistemas de Transmisión y Frenado*. Madrid - España : Paraninfo, 2003. Pág. 88-92.

ARIAS, Manuel y PAZ, Guittian. 2001. *Manual de Automóviles*. Madrid - España : CIE DOSSAT, 2001. Pág 516-519.

BREJCHA, Mathias y TUURI, Ronald. 2000. *Cajas de cambio automáticas*. Madrid - España : Paraninfo, 2000. Pág. 88-92.

HALL, A, HULOWENCO, A y LAUGHLIN, H. 1990. *Diseño de máquinas*. México : McGRAW-HILL, 1990. Pág. 113-115.

MOTT, Robert. 1992. *Diseño de elementos de máquinas*. México : Hall Hispanoamericana S.A., 1992. Pág. 615.

NAVAS, Mario. 2007. *Los Principios de Pascal, Arquímedes y teorema de Bernoulli*. [En línea] 2007. [Citado el: 27 de 10 de 2012.] <http://www.monografias.com/trabajos32/pascal-arquimedes-bernoulli/pascal-arquimedes-bernoulli.shtml>.

PRADA, Marwin. 2008. *Motor electrico trifásico*. [En línea] 2008. [Citado el: 16 de 03 de 2013.] <http://www.monografias.com/trabajos91/motor-electrico-trifasico/motor-electrico-trifasico.shtml>.

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México : McGRAW-HILL, 1995. Pág. 751-764.

SHIGLEY, Joseph y MISCHKE, Charles. 1995. *Diseño en Ingeniería Mecánica*. México : McGRAW-HILL, 1995. Pág. 725-726.